คำนำ

รายงานฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อรวบรวมรายละเอียดเกี่ยวกับการเข้าร่วมโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเซิร์น ณ สมาพันธรัฐสวิส ประจำปี พ.ศ. 2558 ของนายปริญญา การีซอ ระหว่างวันที่ 4 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2558 โดยรายงานฉบับนี้ประกอบไปด้วยรายละเอียดของกิจกรรมระหว่างการเข้าร่วมโครงการไม่ว่าจะเป็นรูปแบบของกิจกรรมซึ่งประกอบไปด้วยการฟังบรรยาย การทดลองและการเยี่ยมชมสถานีต่าง ๆ ของเซิร์น โดยเฉพาะโครงงานวิจัยที่ข้าพเจ้าได้ทำที่นี่ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ CMS ซึ่งข้าพเจ้าได้รวบรวมรายละเอียดเกี่ยวกับงานนี้ไว้เป็นพิเศษซึ่งมาจากประสบการณ์โดยตรงของข้าพเจ้าและการได้เรียนรู้เพิ่มเติมจากที่เซิร์น และปิดท้ายด้วยส่วนของบันทึกประจำวัน ซึ่งในรายงานนี้ยังมีรูปภาพประกอบเนื้อหาตลอดการเข้าร่วมโครงการซึ่งเป็นการทำให้ผู้อ่านเข้าใจถึงบรรยากาศของสถานที่นั้น ๆ ได้ดีขึ้น ข้าพเจ้าหวังว่ารายงานฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อท่านผู้อ่าน ทั้งในส่วนของความรู้และประสบการณ์ที่ข้าพเจ้าได้รับ เพื่อที่จะเป็นแนวทางในการวางแผนเตรียมตัวสำหรับนักศึกษาที่จะเข้าร่วมโครงการในปีต่อ ๆ ไปหรือผู้ที่มีความสนใจ หากในรายงานฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าก็ต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ปริญญา การีซอ

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในพระมหากรุณาธิคุณของสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ที่ทรงพระราชทานโอกาสให้ข้าพเจ้าเป็นตัวแทนนักศึกษาจากประเทศไทย เพื่อเข้าร่วมโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเซิร์น ประจำปี พ.ศ. 2558 ซึ่งเป็นโอกาสอันหาได้ยากยิ่ง ด้วยเหตุนี้แล้วข้าพเจ้าจักนำความรู้ประสบการณ์และทักษะในการทำงานวิจัยที่ได้รับมา มาประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อตัวข้าพเจ้าเอง สังคม และประเทศชาติสืบไป

ขอขอบคุณ ดร. นรพัทธ์ ศรีมโนภาษ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย (supervisor) ของข้าพเจ้า ที่ให้คำแนะนำ แนะแนวและให้ความรู้ในการทำงาน ตลอดจนเพื่อน ๆ ที่ร่วมกิจกรรมที่เซิร์นที่ได้ช่วยเหลือข้าพเจ้าระหว่างการเข้าร่วมโครงการเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณ ดร. มณีเนตร เวชกามา ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้เกี่ยวกับสสารมืดให้กับข้าพเจ้าเป็นอย่างดี จึงทำให้ข้าพเจ้ามีความรู้ที่สามารถไปต่อยอดงานวิจัยที่เซิร์นได้ ตลอดจนช่วยในการเขียนหนังสือรับรองสำหรับเอกสารที่ใช้ในการสมัครเข้าร่วมโครงการในครั้งนี้

ขอขอบคุณ ดร.สุธารัตน์ โชติกประคัลภ์ ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของข้าพเจ้าในขณะที่ข้าพเจ้ายังศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรี ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความกรุณาเขียนหนังสือรับรองในการสมัครเข้าร่วมโครงการในครั้งนี้อีกท่านหนึ่ง

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) คณาจารย์ประจำจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่จัดกิจกรรมค่ายเพื่อเตรียมความพร้อมก่อนเข้าร่วมโครงการที่เซิร์น และโดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณอุมารัชนี แก้วบุดตา ที่คอยช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกให้แก่ข้าพเจ้าตั้งแต่ก่อนเข้าร่วมโครงการจนกระทั่งจบกิจกรรมในครั้งนี้

สุดท้ายขอขอบคุณทุกองค์กร ทุกท่าน และทุกกำลังใจ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับข้าพเจ้าในกิจกรรมในครั้งนี้ ถึงแม้ข้าพเจ้าจะไม่สามารถกล่าวถึงทั้งหมดได้ในที่นี้ก็ตาม แต่ข้าพเจ้าก็ยังรู้สึกซาบซึ้งในบุญคุณของท่านทั้งหลายด้วยใจจริง และท้ายสุดขอขอบคุณเซิร์นสำหรับกิจกรรมและโอกาสที่ดีต่อมวลมนุษยชาติสืบไป

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
บทที่ 1 โครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเซิร์น 2015	
1. รูปแบบกิจกรรม	1
2. การฟังบรรยาย	2
3. การเยี่ยมชม	3
4. Workshops	10
5. Student session	12
บทที่ 2 โครงงานวิจัย	
1. สสารมืด	13
2. แบบจำลองของอนุภาคสสารมืด	17
3. วิธีการตรวจหาสสารมืด	18
4. โปรเจคสสารมืด	20
บทที่ 3 CERN Summer Student Report	25
บทที่ 4 ประสบการณ์และข้อแนะนำ	30
ภาคผนวก: บันทึกประจำวัน (Diary)	33

บทที่ 1
โครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเซิร์น 2015

องค์การวิจัยนิวเคลียร์ยุโรป (European Organization for Nuclear Research; CERN) เป็นองค์กรความร่วมมือระหว่างประเทศในทวีปยุโรปเพื่อวิจัยและพัฒนาทางด้านนิวเคลียร์ แต่ปัจจุบันจะเกี่ยวข้องกับทางด้านฟิสิกส์ของอนุภาคมากกว่าทางด้านของนิวเคลียร์ โดยก่อตั้งเมื่อวันที่ 29 กันยายน พ.ศ. 2497 โดยมีประเทศสมาชิกก่อตั้งทั้งหมด 12 ประเทศ และมีสำนักงานใหญ่อยู่ที่กรุงเจนีวา สวิตเซอร์แลนด์

เซิร์นเป็นสถานปฏิบัติการทางฟิสิกส์อนุภาคที่ใหญ่ที่สุดในโลก ประกอบประเทศสมาชิก 22 ประเทศ โดยมีประเทศปากีสถานได้เข้าร่วมเป็นสมาชิกล่าสุดในปีนี้ ซึ่งมีพนักงาน 2,300 คน นักวิทยาศาสตร์ 11,500 คน กลุ่มอาชีพ 600 คน นักเรียนนักศึกษา 400 คน นักศึกษาภาคฤดูร้อน 300 คนและผู้รับเหมากว่า 3,000 คน โดยมีการวิจัย การทำงานร่วมกัน การศึกษา การฝึกอบรม การถ่ายทอดความรู้วิศวกรรมและนวัตกรรม

1. รูปแบบกิจกรรม

โครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเซิร์น (CERN Summer Student Programme) เปิดโอกาสให้นักศึกษาโดยเฉพาะนักศึกษาระดับปริญญาตรีและโทในสาขาวิชาฟิสิกส์ คอมพิวเตอร์และวิศวกรรมได้มีโอกาสสำคัญในการมีส่วนร่วมของการทำงานวิจัยเป็นทีมในการทดลองของเซิร์น ซึ่งที่นี่ได้ขึ้นชื่อว่าเป็นศูนย์รวมของนักวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะทางด้านฟิสิกส์อนุภาคที่เป็นที่โดดเด่นแล้ว นักศึกษาภาคฤดูร้อนเซิร์นก็จะได้พบกับสภาพแวดล้อมของการทำงานที่มีผู้คนมาจากหลากหลายสาขาวิชาชีพและมีความหลากหลายทางวัฒนธรรม ด้วยเหตุนี้มันเป็นประสบการณ์อย่างยิ่งที่ครั้งหนึ่งในชีวิตได้มีโอกาสอันหาได้ยากที่จะได้ศึกษางานและได้ร่วมทำงานกับนักวิทยาศาสตร์ชั้นนำของโลกและนักศึกษาคนอื่น ๆ จากทั่วทุกมุมโลก ณ ที่แห่งนี้ที่ เซิร์น

กิจกรรมนี้มีเป้าหมายเพื่อให้นักศึกษาได้ทำงานวิจัยระดับแนวหน้า ช่วยในการพัฒนาให้เป็นนักวิทยาศาสตร์ที่มีความรู้และมีทักษะในการทำงานในอนาคต โดยเป้าหมายเหล่านี้จะประสบความสำเร็จผ่านรูปแบบของการบรรยาย ของการทดลองทางฟิสิกส์และฟิสิกส์ทฤษฎี ตลอดจนผ่านทางการทำงานของแต่ละคนภายในกลุ่มของตนเอง

โดยเป็นกิจกรรมที่จัดขึ้นในช่วงฤดูร้อนของทุกปี ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน โดยประกอบด้วยนักศึกษาจากหลากหลายประเทศทั่วโลก ทั้งในส่วนจากประเทศที่เป็นสมาชิกของเซิร์น (Member State) และที่ไม่ได้เป็นสมาชิก (Non Member State) โดยมีระยะเวลาของการเข้าร่วมโครงการประมาณ 8 ถึง 12 สัปดาห์ ซึ่งมีนักศึกษาจากสาขาวิชาฟิสิกส์ วิศวกรรม และคอมพิวเตอร์รวมกันมากถึงประมาณ 300 คน ซึ่งในส่วนของกิจกรรมที่จัดขึ้นมีตั้งแต่การฟังบรรยายโดยประกอบไปด้วยเนื้อหาที่เกี่ยวกับฟิสิกส์ทางการทดลอง ฟิสิกส์เชิงทฤษฎีและอื่น ๆ ซึ่งในแต่ละวันก็จะต้องทำงานวิจัยของตนเพื่อที่จะนำเสนอผลงานในช่วงท้ายของโครงการ ซึ่งมีทั้งการนำเสนอในรูปแบบของโปสเตอร์และแบบบรรยาย โดยในระหว่างกิจกรรมก็จะมีบางวันที่จะมีการจัดอบรมในส่วนของ workshop เป็นพิเศษ เช่นการใช้โปรแกรม root และการทดลองทางฟิสิกส์เล็ก ๆ น้อย ๆ และนอกจากนั้นยังมีกิจกรรมการเยี่ยมชมเครื่องเร่งอนุภาคการทำงาน

อุปกรณ์และเทคโนโลยีต่าง ๆ โดยบางกิจกรรมที่นอกเหนือจากกิจกรรมของโครงการเราก็สามารถสมัครเข้าร่วมในส่วนของกิจกรรมของเซิร์นในส่วนอื่น ๆ ที่เราสนใจได้ไม่ว่าจะเป็นการฟังบรรยายพิเศษหรืออื่น ๆ นอกจากนี้ก็ยังมีกิจกรรมที่นักศึกษาได้จัดขึ้นกันเอง เช่นการออกกำลังกายและเล่นกีฬา พบปะสังสรรค์ รวมถึงการท่องเที่ยวนอกสถานที่ในช่วงสุดสัปดาห์ซึ่งอาจจะเป็นบริเวณเซิร์นหรือไม่ก็ที่ไกล ๆ ซึ่งเป็นโอกาสที่สำคัญที่จะได้เปิดโลกทัศน์และเข้าใจในสิ่งต่างๆนอกห้องเรียนมากขึ้นไม่ว่าจะเป็นวัฒนธรรม การใช้ชีวิต การเข้าร่วมสังคม และเป็นโอกาสที่ดีอย่างยิ่งในการฝึกภาษา

2. การฟังบรรยาย

การบรรยายวันแรกวันที่ 30 มิถุนายน จนถึงวันที่ 7 สิงหาคม ทุกวันจันทร์ถึงวันศุกร์ตั้งแต่เวลา 09:00-12:00 น. โดยมีการบรรยายวันละ 3 ช่วงโดยส่วนใหญ่เป็นช่วงละเรื่อง เรื่องละ 45 นาที และมีช่วงถาม-ตอบข้อสงสัยเกี่ยวกับเรื่องการบรรยายของแต่ละวันเป็นเวลา 30 นาทีตั้งแต่เวลา 12:00-12:30 น. โดยจะมีนักศึกษาเพียงจำนวนหนึ่งเท่านั้นที่มีความสนใจในช่วงนี้ โดยสามารถดาวน์โหลดเอกสารประกอบการบรรยายได้ที่ http://summer-timetable.web.cern.ch/summer-timetable/

โดยหัวเรื่องของบรรยายในการเข้าร่วมกิจกรรมในปีนี้มีดังนี้

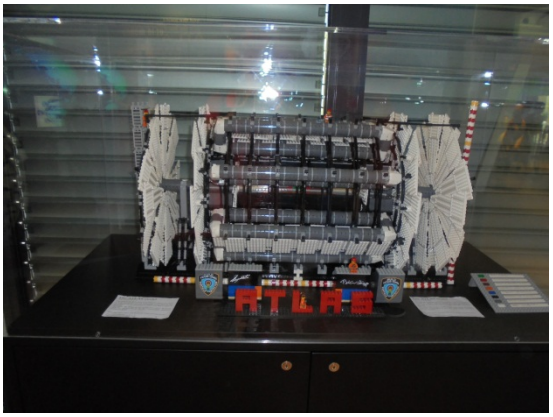
1. Introduction
2. Particle World
3. DG' Presentation
4. Theoretical Concepts in Particle Physics
5. Introduction to Accelerator Physics
6. Phenomenology of the Standard Model
7. Introduction to Statistic
8. Nuclear Physics at Isolde
9. Detectors
10. Electronics, DAQ & Trigger
11. Flavour Physics and CP Violation
12. Neutrino Physics
13. Triggers for LHC Physics
14. From Raw Data to Physics Results
15. Beyond the Standard Model
16. SM Physics at Hadron Colliders
17. Heavy Ions
18. Introduction to Cosmology
19. Introduction to Monte-Carlo Techniques
20. Search for BSM Physics at Hadron Colliders
21. Medical Physics - Radiobiology of Particle Beams
22. Future Collider Technologies

23. Physics at Future Colliders
24. Medical Physics - Particle Accelerators in Cancer Therapy
25. What is String Theory?
26. Simulation of Particle Interaction in Detector
27. Upgrade of LHC Injectors
28. Superconductivity and SC Magnets for the LHC Upgrade
29. Astroparticle Physics
30. Antimatter in the Lab
31. Collimation Systems
32. Closing Lecture

3. การเยี่ยมชม

กิจกรรมการเยี่ยมชมสถานที่สำคัญ ๆ ของเซิร์น เป็นกิจกรรมที่จัดขึ้นโดยในระหว่างการเข้าร่วมกิจกรรมหลักของที่นี่ เพื่อเปิดโอกาสให้นักศึกษาได้เยี่ยมชมและสัมผัสกับบรรยากาศของการทำงานที่นั่น ไม่ว่าจะเป็นการทำงานของบุคลากรและอุปกรณ์เครื่องมือ ณ ที่นั้น ๆ และที่ขาดไม่ได้คือ เครื่องตรวจจับอนุภาคแบบต่าง ๆ ของ LHC แต่ทว่าข้าพเจ้าไม่ได้เห็นเครื่องตรวจจับของจริง เนื่องจากว่า LHC อยู่ในระหว่างการทำงานที่ระดับพลังงาน 13 TeV โดยข้าพเจ้าได้เยี่ยมชมบางสถานที่ดังนี้

3.1 ATLAS Visitor Centre



ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS) คือการทดลองฟิสิกส์อนุภาคของ Large Hadron Collider ที่ CERN โดยเครื่องตรวจจับ ATLAS ได้ทำการค้นหาเพื่อนำไปสู่การค้นพบใหม่ ๆ ในการชนกันของโปรตอนที่มีพลังงานสูง ATLAS กำลังทำการเรียนรู้เกี่ยวกับแรงพื้นฐานที่ส่งผลถึงรูปร่างของจักรวาลของเราตั้งแต่เวลาแรกเริ่ม, extra dimensions ของ space, การรวมกันของแรงพื้นฐานตลอดจนหลักฐานเกี่ยวกับ dark matter ในเอกภพ ด้วยข้อมูลของการค้นพบของ Higgs boson จะทำให้ช่วยในการตรวจหาเชิงลึกของคุณสมบัติ boson ตลอดจนถึงจุดกำเนิดของมวลต่อไป

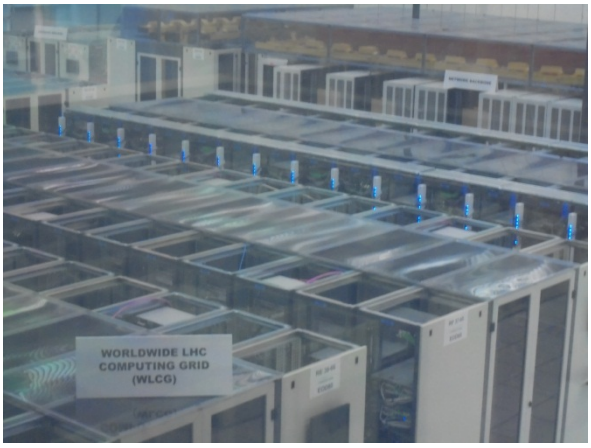
โดยผู้บรรยายได้บรรยายลักษณะของเครื่องตรวจจับอนุภาคที่ ATLAS ตลอดจนการนำเสนอผ่านการบรรยายเกี่ยวกับ ATLAS ทำให้ผู้รับฟังได้สัมผัสถึงความตื่นเต้นของวิทยาศาสตร์ ณ ที่แห่งนี้ และยังได้สังเกตการการทำงานของผู้คนที่นี่ ณ ห้องควบคุมของ ATLAS ผ่านทางผนังกระจกอีกด้วย

3.2 Synchrocyclotron

เครื่องเร่งอนุภาค Synchrocyclotron (SC) ที่ระดับพลังงาน 600 MeV ถูกสร้างขึ้นในปี 1957 ซึ่งเป็นเครื่องเร่งอนุภาคเครื่องแรกของเซิร์น โดยเป็นการทดลองเกี่ยวกับอนุภาคและฟิสิกส์นิวเคลียร์ ซึ่งได้ทำการปิดตัวลงหลังจากการทำการ 33 ปี

ผู้บรรยายได้บรรยายตั้งแต่แรกเริ่มของเซิร์น ซึ่งเริ่มต้นด้วยเครื่องเร่งเครื่องนี้ Synchrocyclotron จากนั้นได้นำพาไปที่ห้องจัดแสดง ซึ่งนักศึกษาก็ได้ชมวีดีทัศน์ที่สวยงามตระการตา ซึ่งเป็นวีดีทัศน์ที่ทำให้นักศึกษาได้เข้าใจประวัติความเป็นมาจากปัจจุบันไปสู่จุดเริ่มต้นของการวิจัยฟิสิกส์ ณ CERN

3.3 CERN Data Centre



CERN Data Centre เป็นหัวใจของเซิร์นของโครงสร้างพื้นฐานทั้งทางด้านของวิทยาศาสตร์ ทางการบริหารและทางคอมพิวเตอร์ บริการทั้งหมดที่ประกอบไปด้วยอีเมล์ การจัดการข้อมูลทางวิทยาศาสตร์และการประชุมทางไกลนั้นได้ใช้อุปกรณ์ที่มีฐานอยู่ใน data centre นี้ CERN data centre ได้มีการประมวลผลของข้อมูลมากถึง 1 เทระไบท์ในแต่ละวันหรือเทียบเท่ากับแผ่นดีวีดีประมาณ 210,000 แผ่นเลยทีเดียว

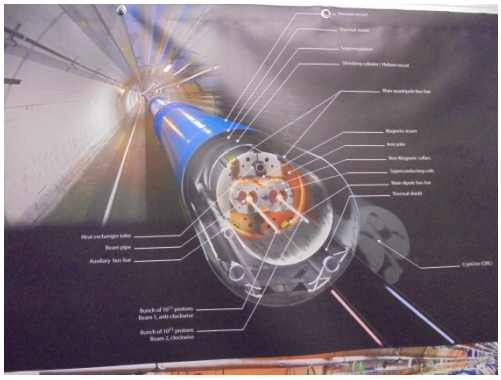
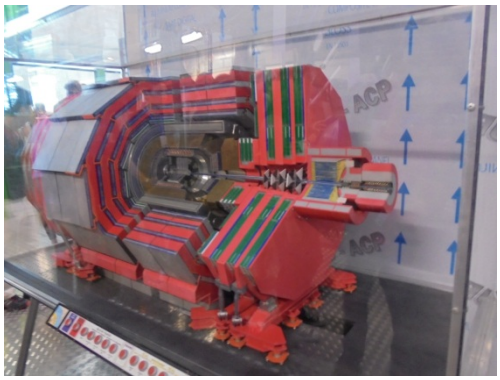
โดยผู้บรรยายได้ทำการอธิบายประวัติของการจัดการข้อมูลตั้งแต่เมื่อสมัยก่อนจนถึงปัจจุบัน และได้อธิบายเกี่ยวกับการจัดการข้อมูลของเซิร์นอีกด้วย แล้วหลังจากนั้นก็เปิดให้ชมอุปกรณ์การจัดเก็บข้อมูลของเซิร์นดังแสดงในรูปภาพ

3.4 Antiproton Decelerator

Antiproton Decelerator (AD) ให้ปฏิโปรตอนที่มีพลังงานต่ำ ๆ โดยหลัก ๆ เพื่อสำหรับการศึกษาปฏิสสาร ซึ่งในตอนนี้ AD ได้ดำเนินงานโดยสร้าง antiproton แล้วส่งให้กับการทดลอง

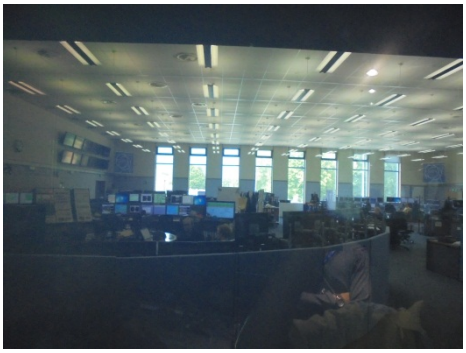
3.5 CMS

CMS (Compact Muon Solenoid) เป็นเครื่องตรวจจับอนุภาคเครื่องหนึ่งที่ LHC โดยมีเป้าหมายคือการศึกษาแบบจำลองมาตรฐาน (รวมทั้ง Higgs boson) เพื่อค้นหา extra dimensions และอนุภาคที่สามารถประกอบขึ้นเป็นสสารมืด แม้ว่าจะมีเป้าหมายทางวิทยาศาสตร์เช่นเดียวกับการทดลองของ ATLAS แต่มันใช้เทคนิคที่แตกต่างกันและการออกแบบระบบแม่เหล็กที่แตกต่างกันอีกด้วย

ซึ่งกิจกรรมนี้เป็นกิจกรรมที่จัดขึ้นพิเศษสำหรับ summer student ที่ร่วมงานกับ CMS เท่านั้น ไม่ได้อยู่ในโปรแกรมของการเยี่ยมชมของทาง summer student ทั้งหมด ถึงแม้จะได้ลงไปเยี่ยมชมการทดลองใต้ดินแต่ก็เป็นที่น่าเสียดายเพราะว่าไม่ได้เห็นตัวของเครื่องเร่งจริง ๆ เนื่องด้วยว่าอยู่ในช่วงของการเดินเครื่องทำงานนั่นเอง แต่ทว่าด้วยปัญหาทางเทคนิคบางอย่างทำให้การทำงานที่ฟิสิกส์ระดับ 13 TeV ในครั้งนี้ต้องหยุดพัก จึงทำให้ในภายหลังมีผู้ที่สามารถลงไปเยี่ยมชมเครื่องเร่งตัวนี้ได้ ซึ่งในตอนนั้นข้าพเจ้าก็ได้กลับมาประเทศไทยเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงเป็นที่น่าเสียดายสำหรับโอกาสในครั้งนี้เป็นอย่างยิ่ง

3.6 CERN Control Centre



วัตถุประสงค์ของ CERN Control Centre (CCC) คือเพื่อรวมห้องควบคุมทั้งหมดจาก 8 เครื่องเร่งอนุภาคตลอดจนการขับเคลื่อนไครอยีนิคส์ และโครงสร้างพื้นฐานทางด้านเทคนิค

โดยผู้บรรยายได้ให้ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเซิร์น LHC ตลอดจนถึงเรื่องที่เกี่ยวข้องกับ CCC แล้วหลังจากนั้นก็ได้ให้ชมบรรยากาศการทำงานของผู้คน ณ ที่แห่งนี้ ซึ่งเป็นห้องที่อยู่ด้านหลังกระจกของผู้บรรยายนั่นเอง

3.7 SM18

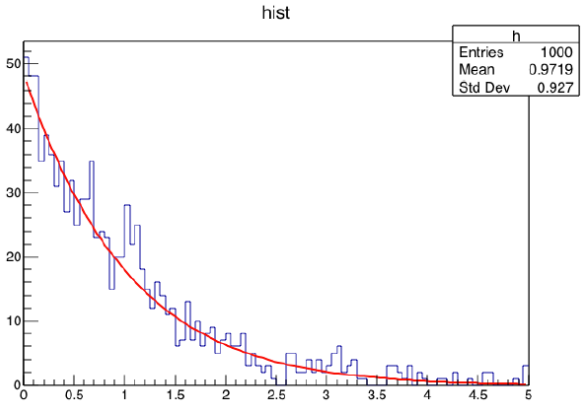
SM18 เป็นสถานที่ที่เป็นลักษณะเฉพาะที่เซิร์น เพื่อการทดสอบแม่เหล็กและเครื่องมือวัดที่อุณหภูมิต่ำมาก ๆ (ต่ำสุดถึง 1.9 K) และนำไปสู่กระแสไฟฟ้าที่สูงถึง 20 kA เลยทีเดียว เนื่องจากความเป็นไปได้ในการทดสอบแม่เหล็กยิ่งยวด (superconducting magnets) และเทคโนโลยีแม่เหล็กที่มีความหลากหลายมากขึ้น SM18 จึงถูกออกแบบให้เป็นสิ่งอำนวยความสะดวกในการเข้าถึงโดยทั่วกันที่เรียกว่า MagNet@CERN เพื่อให้เป็นพื้นที่ทดสอบขนาดใหญ่ โดยผู้บรรยายได้อธิบายและให้ความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์ที่อยู่ที่นี่ และเปิดโอกาสให้เดินชมกับอุปกรณ์ที่จัดแสดง ซึ่งได้รับความสนใจเป็นอย่างดีจากผู้เยี่ยมชม

4. Workshops

โดยข้าพเจ้าได้มีโอกาสเข้าร่วมเพียงแค่ 2 workshop เท่านั้น เนื่องด้วยระยะเวลาอันสั้นในการเข้าร่วมกิจกรรมในครั้งนี้

4.1 ROOT

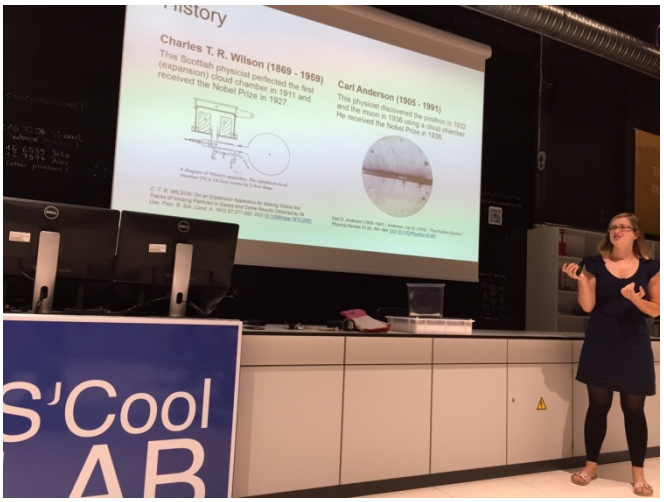
ROOT เป็นชุดเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล การจัดเก็บและการสร้างภาพแสดงผล มันถูกใช้อย่างแพร่หลายในสาขาวิชา High Energy Physics และสาขาวิชาอื่น ๆ



โดยมีคำแนะนำการใช้งานในเว็บไซต์ https://indico.cern.ch/event/395198/material/slides ซึ่งใน workshop นี้ มีการให้ความรู้เกี่ยวกับ C++, การพล็อตข้อมูลและการฟิตข้อมูลเป็นต้น โดยเป็นการเรียนรู้สำหรับเบื้องต้นเท่านั้น ซึ่งในการใช้งานจริงที่เราทำนั้น ต้องศึกษาด้วยตนเองมากกว่านี้มาก ๆ โดยในกิจกรรมนี้นักศึกษาส่วนมากล้วนแล้วแต่มีพื้นฐานและประสบการณ์ในการเขียนโปรแกรมมาแล้วเป็นอย่างดีถึงดีมาก ส่วนตัวข้าพเจ้าเองนั้นก็ถือว่าเป็นโอกาสที่ดีที่จะได้ศึกษาและเรียนรู้กับสิ่งใหม่ ๆ ซึ่งเพื่อน ๆ ก็ได้ช่วยอธิบายให้กับข้าพเจ้าในระหว่างกิจกรรมนี้อีกด้วย

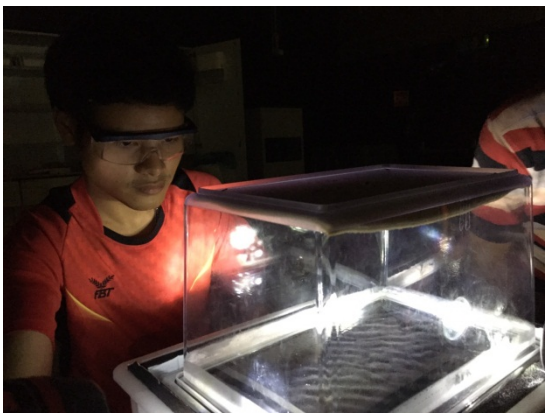
4.2 Cloud Chamber

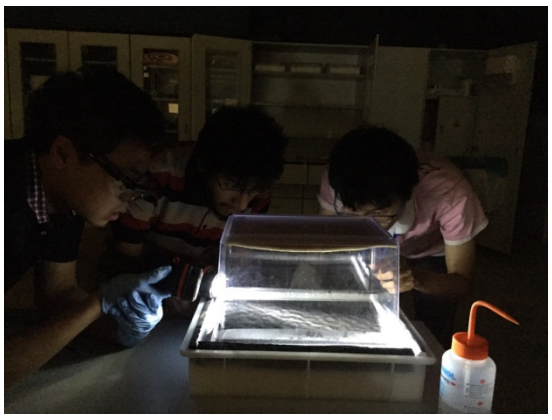
อนุภาคที่มาจากจักรวาล (รังสีคอสมิก) จะข้ามผ่านทะลุโลกตลอดเวลา โดยที่ไม่เป็นอันตรายต่อเราแต่อย่างใด แต่เราก็ไม่สามารถมองเห็นมันได้ ทว่า Cloud chambers จะช่วยตรวจหาพวกมันโดยแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคเหล่านี้ ซึ่งจะทำให้เรามองเห็นการเคลื่อนที่ของพวกมันได้ ซึ่งเมื่อหลายสิบปีที่ผ่านมาเครื่องตรวจจับเหล่านี้ถูกนำมาใช้ที่เซิร์นในการทดลองครั้งแรกเพื่อการตรวจหาอนุภาค



มีอุปกรณ์ที่ใช้คือ กล่องใสพร้อมฟองน้ำเล็ก ๆ ที่ฐาน แอลกอฮอล์ (Isopropanol) น้ำแข็งแห้ง แผ่นโลหะ ถุงมือสำหรับจับน้ำแข็งแห้ง ถุงมือทั่วไป แว่นตาป้องกันอันตราย และไฟฉาย

เริ่มต้นจากเทแอลกอฮอล์เข้าไปให้ทั่วฟองน้ำที่กล่องใสแล้วปิดกล่องบนแผ่นโลหะ (ราดแอลกอฮอล์บนแผ่นโละนี้ด้วย) ซึ่งแผ่นโลหะนี้จะวางบนน้ำแข็งแห้งอีกที ซึ่งจะเป็นการลดอุณหภูมิภายในกล่องใสนี้โดยมีแผ่นโลหะเป็นตัวนำความเย็นที่ดีนั่นเอง รอสักพักจนอุณหภูมิในกล่องลดลง ซึ่งระหว่างนั้นไฟในห้องจะปิดลง แล้วเราก็ต้องใช้ไฟฉายส่องดู ก็จะสามารถสังเกตเห็นได้ถึงแนวเส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่เคลื่อนที่มายังในกล่องนี้ ซึ่งการที่เราเห็นเส้นทางของอนุภาคเหล่านี้เกิดจากการที่อนุภาคนั้นไปไอออไนซ์กับละอองแอลกอฮอล์ที่เราใส่ไปนั่นเอง ซึ่งเราจะพบลักษณะเส้นทางการเคลื่อนที่มากมายหลายแบบซึ่งเกิดจากอนุภาคที่เคลื่อนที่เข้ามาในกล่องนี้ที่แตกต่างกันไปนั่นเอง ซึ่งเป็นการทดทองที่น่าตื่นเต้นมาก ๆ โดยเฉพาะการได้ใช้อุปกรณ์เครื่องมือที่เซิร์น





5. Student session

Student session เป็นส่วนของการนำเสนอผลงานของนักศึกษาภาคฤดูร้อน ซึ่งมีทั้งการนำเสนอแบบโปสเตอร์และแบบบรรยาย โดยการนำเสนอแบบโปสเตอร์จัดขึ้นในช่วงเย็นของวันพุธที่ 5 สิงหาคม ซึ่งนักศึกษาเจ้าของโปสเตอร์ก็จะอยู่ประจำตำแหน่งของโปสเตอร์ของตัวเองเพื่อรออธิบายให้กับผู้ที่สนใจที่มาเดินหมุนเวียนมาสอบถามเรื่อย ๆ โดยระหว่างงานก็จะมีของกินเล็ก ๆ น้อย ๆ ไว้รับรองสำหรับผู้ที่มาเยี่ยมชมงานและผู้เสนอผลงาน ซึ่งเป็นบรรยากาศที่ดีมากที่จะหาอะไรกินไปดื่มไประหว่างการสนทนาเกี่ยวกับงานนั้น ๆ โดยงานของแต่ละคนที่มานำเสนอนั้นมีความน่าสนใจมาก ๆ เลยทีเดียว ซึ่งก็มาจากหลายสาขาวิชาเช่น คอมพิวเตอร์และฟิสิกส์ ซึ่งในส่วนของฟิสิกส์ก็ยังมีความหลากหลายของเนื้อหาออกไปอีกเช่นกัน โดยมีการนำเสนอผลงานทั้งหมด 20 เรื่องด้วยกัน แต่ทว่าข้าพเจ้าไม่ได้มีส่วนร่วมในการนำเสนอโปสเตอร์ในครั้งนี้ ซึ่งได้แต่ดูเยี่ยมชมและฟังการบรรยายโปสเตอร์จากท่านอื่น ๆ เท่านั้น เนื่องจากว่าข้าพเจ้านั้นมีเวลาในการเขียนโค๊ดโปรแกรมงานเพียงแค่ 18 วันเท่านั้น ซึ่งตัวของข้าพเจ้าเองเพิ่งจะเสร็จงานประมาณ 99 เปอร์เซ็นต์ในวันของการนำเสนอโปสเตอร์ในครั้งนี้ ส่วนสำหรับการนำเสนอผลงานแบบบรรยายนั้นได้จัดขึ้นเป็นเวลา 3 วันจากวันที่ 11 ถึง 13 สิงหาคม ซึ่งข้าพเจ้านั้นก็ไม่ได้นำเสนองานอีกเช่นกัน ถึงแม้ว่างานของข้าพเจ้าจะเสร็จแล้วก็ตาม เพราะว่าข้าพเจ้านั้นได้เดินทางกลับประเทศไทยตั้งแต่วันที่ 8 สิหาคม เป็นที่เรียบร้อยแล้ว

ภาพการนำเสนองานแบบโปสเตอร์

บทที่ 2
โครงงานวิจัย

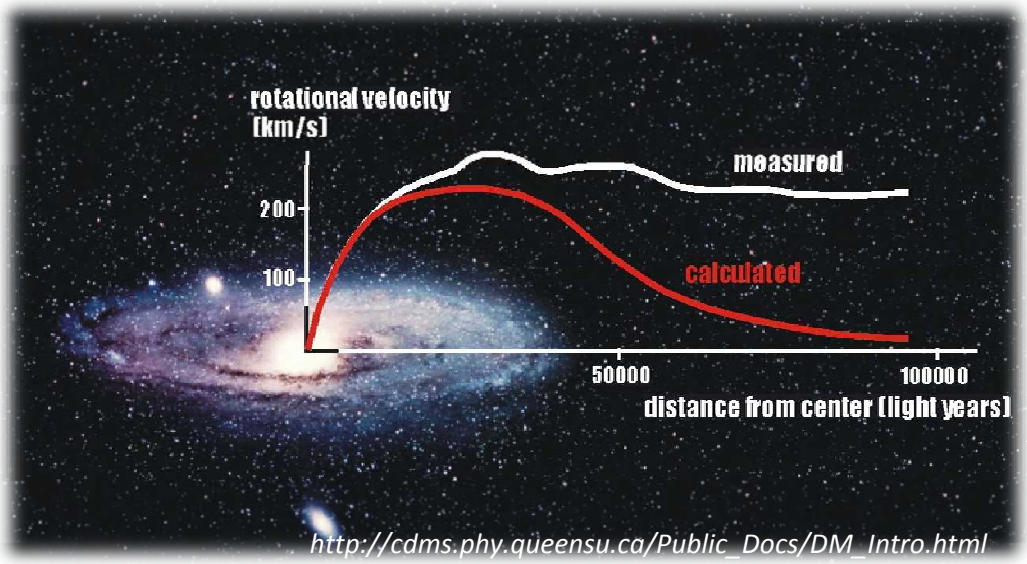
1. สสารมืด

ในปี 1933 ผู้ที่เสนอแนวความคิดเกี่ยวกับ dark matter เป็นคนแรกคือ Fritz Zwicky จาก California Institute of Technology ได้ทำการศึกษาการเคลื่อนที่ของ Coma cluster ซึ่ง Coma cluster เป็นกระจุกดาราจักรขนาดใหญ่ประกอบด้วยสมาชิกดาราจักรกว่าพันดวงอยู่ห่างจากโลกไปประมาณ 320 ปีแสงทางกลุ่มดาวเส้นผมของเบเรนิส Coma cluster เป็นกระจุกดาราจักรที่อยู่ในระยะห่างพอดีที่สามารถจะศึกษาการเคลื่อนที่ของแต่ละดาราจักรในกระจุกได้ ไม่ใกล้เกินไปจนเรามองไม่เห็นภาพรวมและไม่ห่างเกินไปจนยากที่จะศึกษา Zwicky ได้วัดความเร็วการเคลื่อนที่ของกาแล็กซี่ แล้วเอาความเร็วนั้นมาคำนวณหามวลของ Coma cluster นอกจากนี้ก็ยังได้ทำการวัดความสว่างของ Coma cluster และทำการคำนวณมวลจากความสว่างที่มองเห็น ผลที่ได้ทำให้น่าประหลาดใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากมวลของ Coma cluster ที่คำนวณได้จากการวัดความเร็วนั้นมากกว่ามวลที่คำนวณได้จากความสว่างถึง 90% เขาจึงตั้งทฤษฎี virial เพื่ออธิบายมวลที่มองไม่เห็นของ Coma cluster galaxies เนื่องจากเขาพบว่ามวลที่หาได้จากการวัดความเร็วการเคลื่อนที่ของกาแล็กซี่มีค่ามากกว่ามวลที่ประมาณค่าจากวัตถุที่มองเห็นถึง 400 เท่า ทำให้เขาพบปัญหาที่สำคัญคือ การหายไปของมวลในจักรวาล เขาจึงคาดว่าต้องมีวัตถุที่มองไม่เห็นซึ่งมีขนาดมากพอจนมีผลต่อแรงโน้มถ่วง ของกระจุกดาราจักรซึ่งหมายความว่ามีมวลที่เรามองไม่เห็น หรือ “Invisible Mass” อีกเป็นจำนวนมาก Zwicky เรียกมวลที่มองไม่เห็นนี้ว่า “Dark matter”

ภาพ Coma Cluster

นั่นคือจุดที่นักดาราศาสตร์เริ่มรู้จักสสารมืด แต่หลักฐานที่มีในระยะแรกก็ยังค่อนข้างคลุมเครือและการค้นพบของ Zwicky ก็ไม่ได้รับการยอมรับในวงกว้างนัก จนเวลาล่วงเลยมา 40 ปี ในปี ค.ศ. 1975 Vera Rubin ได้ค้นพบหลักฐานสำคัญอีกประการหนึ่งที่บ่งชี้ว่ามีมวลที่มองไม่เห็นในเอกภพ ครั้งนี้ Vera Rubin ไม่ได้

ศึกษากระจุกดาราจักรทั้งกระจุก แต่ศึกษาดาราจักรกังหันใกล้ ๆ (spiral galaxy) หลายดาราจักร โดยศึกษาการหมุนรอบตัว (Rotation curves) อย่างละเอียด หากมวลส่วนใหญ่ของดาราจักรอยู่ในตัวดาราจักรที่เราสังเกตได้หรือคืออยู่ตรงกลางๆ ของตัวดาราจักร ความเร็วการหมุนรอบตัวเองของแต่ละส่วนของกังหันก็ควรจะลดลงตามระยะห่างจากศูนย์กลางดาราจักรเหมือนกับระบบสุริยะที่มวลส่วนใหญ่อยู่ตรงกลาง (คือดวงอาทิตย์) ความเร็วที่ดาวเคราะห์โคจรรอบดวงอาทิตย์ก็จะลดหลั่นไปตามระยะห่างจากดวงอาทิตย์ ดาวพุธโคจรเร็วกว่าโลก โลกโคจรเร็วกว่าดาวอังคาร ดาวอังคารโคจรเร็วกว่าดาวพฤหัส ฯลฯ แต่สิ่งที่พบจากการสังเกตดาราจักรกังหันกลับเป็นว่าความเร็วในการหมุนรอบตัวเอง ณ จุดต่าง ๆ ของแขนกังหันมีความเร็วค่อนข้างคงที่ไม่ว่าจะออกห่างจากศูนย์กลางไปเท่าใด Vera Rubin มีทางเลือกสองแนวทางที่จะอธิบายปรากฏการณ์นี้ ทางแรกคือกลศาสตร์นิวตันที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าแม่นยำขนาดส่งมนุษย์ไปลงดวงจันทร์ได้ อาจจะใช้การไม่ได้กับระบบที่ใหญ่ขนาดดาราจักร ซึ่งฟังดูไม่เข้าท่า เพราะจะนำไปสู่คำถามใหญ่กว่าที่ว่าทำไมกลศาสตร์นิวตันถึงใช้ไม่ได้กับระบบขนาดใหญ่ ทางที่สองคือยอมรับว่ามวลราว 90% ของดาราจักรไม่ได้อยู่ตรงกลางตัวดาราจักรที่สังเกตได้ แต่อยู่โดยรอบดาราจักรในบริเวณที่เราส่องกล้องไปเท่าไหร่ก็พบแต่ความว่างเปล่า มองทะลุไปเห็นดาวเบื้องหลังได้ราวกับว่าไม่มีอะไรอยู่ตรงที่นั้น ซึ่งก็น่าอึดอัดไม่แพ้ทางเลือกแรก แต่ก็ยังฟังดูเป็นไปได้มากกว่า การค้นพบนี้เป็นการยืนยันแนวคิดเรื่องสสารที่มองไม่เห็นในเอกภพของ Zwicky ดังนั้น Vera Rubin จึงได้สรุปว่ามวลส่วนใหญ่ของกาแล็กซีคือสสารที่เราไม่สามารถมองเห็นได้หรือ dark matter นั่นเอง



ภาพ Rotation Curve of Galaxy

Rotation curve ของกาแล็กซี่คือกราฟความเร็วในการหมุนรอบตัวเองของกาแล็กซี่ โดยความเร็วนี้อาจวัดจากความเร็วของการเคลื่อนที่ของดาวหรือก๊าซก็ได้ จากรูปเป็นตัวอย่างของ Rotation curve จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของดาวในหน่วยของ km/s และระยะห่างจากศูนย์กลางกาแล็คซี่ในหน่วยของปีแสง กราฟเส้นสีขาวเป็นกราฟของความเร็วที่ได้จากการวัด ซึ่งจากกฎของนิวตันก็สามารถที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างมวลและความเร็วได้ ในส่วนของกราฟเส้นสีแดงเป็นกราฟของความเร็วที่ได้จากการคำนวณมวลจากความสว่างที่มองเห็น

โดยพิจารณาว่ากาแล็กซี่หมุนรอบตัวเองเป็นวงกลม จากกฎของนิวตันจะได้ว่า

$$\frac{mv^2}{R} = \frac{GMm}{R^2}$$

ซึ่ง v มีค่าเท่ากับ

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

โดยที่

M คือ มวลของกาแล็กซี (kg)
V คือ ความเร็วในการหมุนรอบตัวเอง (km/s)
R คือ รัศมีจากศูนย์กลางกาเล็กซี (m)
G คือ ค่าคงตัวโน้มถ่วงสากล = 6.674x10−11 $N.m^2 / kg^2$

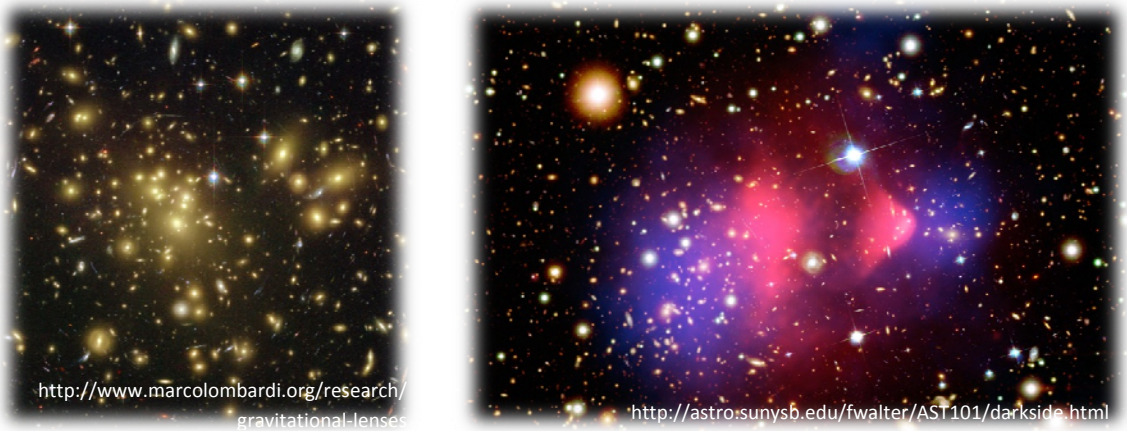
อย่างไรก็ตามจากการสังเกตกำลังความส่องสว่างหรือ luminosity ของกาแล็กซี่ สามารถที่จะหามวลจากความสว่างที่มองเห็นได้อย่างเช่นจากความสัมพันธ์ตามสมการ mass-luminosity relation

$$M_{Luminous} \propto \sqrt[3.5]{L}$$

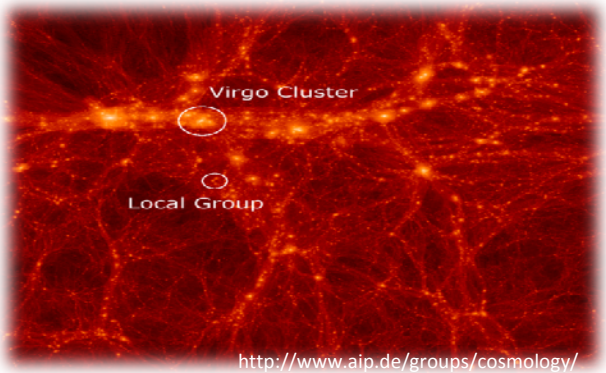
โดยที่

L คือ กาลังส่องสว่างของกาแล็กซี่ (Luminosity) (W)

สสารมืดเป็นสสารในอวกาศชนิดหนึ่งซึ่งเป็นสมมุติฐานทางด้านฟิสิกส์ดาราศาสตร์ และจักรวาลวิทยา ว่ามันเป็นสสารซึ่งไม่สามารถส่องแสงหรือสะท้อนแสงได้เพียงพอที่ระบบตรวจจับการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะสามารถตรวจจับได้โดยตรง แต่เราพบว่ามันมีอยู่จากการศึกษาผลกระทบของแรงโน้มถ่วงรวมที่มีต่อวัตถุท้องฟ้าที่เรามองเห็น จากการสังเกตการณ์โครงสร้างขนาดใหญ่ในอวกาศที่ใหญ่กว่าดาราจักรในปัจจุบัน ตลอดจนถึงทฤษฎีบิ๊กแบง ซึ่งจะเห็นว่าสสารมืดเป็นส่วนประกอบของมวลจำนวนมากในเอกภพที่เรายังไม่รู้จักมัน ปรากฏการณ์ที่ตรวจพบที่เกี่ยวข้องกับสสารมืด เช่น ความเร็วในการหมุนตัวของดาราจักร ความเร็วในการโคจรของดาราจักรในกระจุกดาราจักร เลนส์ความโน้มถ่วง รวมถึงการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนในดาราจักรและในกระจุกของดาราจักร และการก่อตัวเป็นโครงร่างของเอกภพซึ่งจำเป็นที่จะต้องมีสสารมืดเพื่อที่จะสามารถก่อตัวเป็นเอกภพในปัจจุบันได้ เป็นต้น

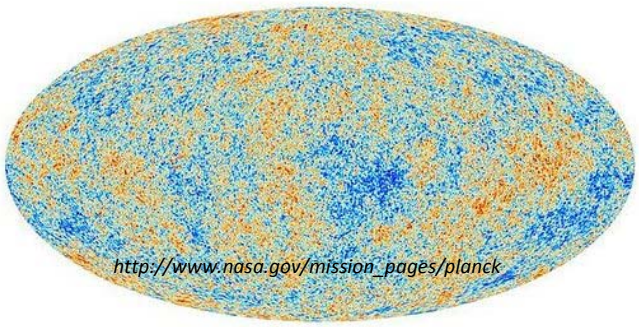


ภาพ Gravitational Lensing

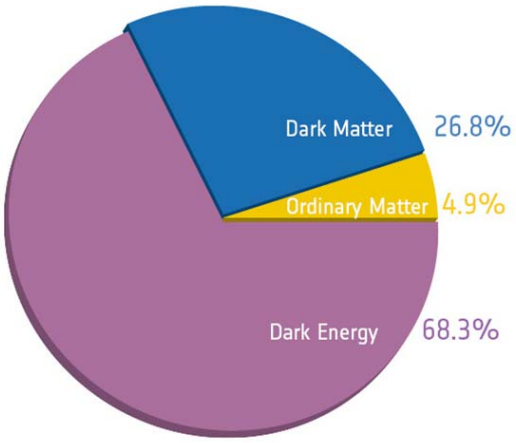


ภาพ Structure Formation of Universe

จากข้อมูลรังสีไมโครเวฟพื้นหลังของจักรวาล (Cosmic Microwave Background; CMB) ที่ได้จากดาวเทียม Planck พบว่าในเอกภพของเราประกอบด้วย 3 ส่วนด้วยกันคือ สสารทั่วไปที่เรารู้จัก ซึ่งมีอยู่เพียง 4.9 % เท่านั้น ที่เหลือเป็นสสารมืด (Dark Matter) 26.8% และ พลังงานมืด (Dark Energy) อีก 68.3% ซึ่งก็ยังไม่ทราบเป็นที่แน่ชัดว่าสสารมืดและพลังงานมืดคืออะไร โดยในส่วนของงานนี้เราจะศึกษาในส่วนของสสารมืดเท่านั้น



ภาพ Cosmic Microwave Background (CMB)



(รูปภาพปริมาณสัดส่วนของสิ่งที่เป็นองค์ประกอบของเอกภพ)

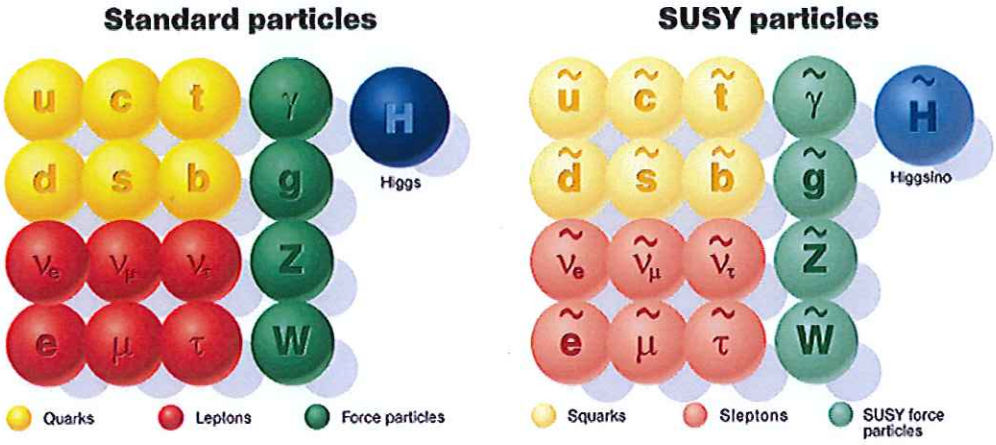
2. แบบจำลองของอนุภาคสสารมืด

มีการตั้งสมมุติฐานว่าสสารมืด สามารถแบ่งได้ 3 แบบคือ

- สสารมืดแบบร้อน (Hot Dark Matter)
- สสารมืดแบบอุ่น (Warm Dark Matter)
- สสารมืดแบบเย็น (Cold Dark Matter)

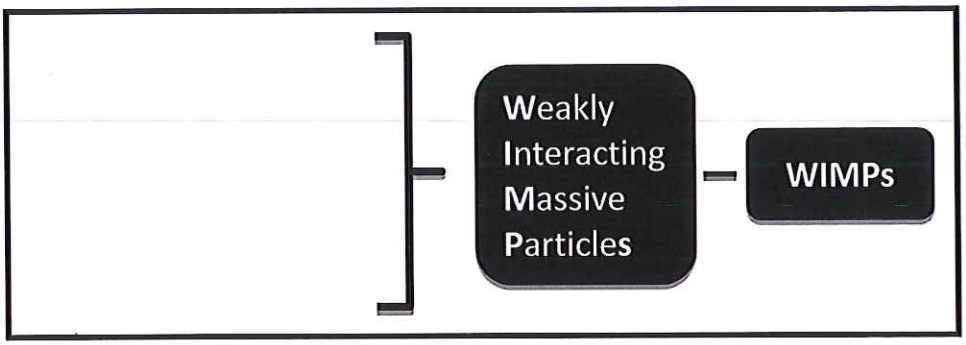
การแบ่งแต่ละแบบเป็นไปตามความผันผวนของเส้นสเปกตรัม ถ้าสสารมืดประกอบด้วยอนุภาคของแสงมากมายซึ่งเชื่อว่าต้องมีความสัมพันธ์กับการเกิดขึ้นของสสารมืด สสารมืดแบบร้อนมีพลังงานสูงความเร็วสูงทำให้มีอุณหภูมิสูง สสารมืดแบบอุ่นมีความเร็วน้อยกว่าทำให้มีอุณหภูมิที่เย็นลงมา ส่วนสสารมืดแบบเย็นเป็นอนุภาคที่พบมากที่สุด

แบบจำลองของอนุภาคสสารมืดที่ใช้ คือ WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles) ซึ่งเป็น Physics beyond the Standard Model ในส่วนของ Supersymmetry (SUSY) โดยจากแรงพื้นฐานในธรรมชาติ 4 ชนิด คือ แรงโน้มถ่วง (Gravitational Force) แรงแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Force) แรงนิวเคลียร์อย่างเข้ม (Strong Nuclear Force) และแรงนิวเคลียร์อย่างอ่อน(Weak Nuclear Force) จะเห็นได้ว่าสสารมืดสามารถเกิดอันตรกิริยากับแรงโน้มถ่วงได้เท่านั้น โดยสามารถเกิดอันตรกิริยากับแรงนิวเคลียร์อย่างอ่อนได้เพียงเล็กน้อย ซึ่งในงานนี้เรามีสมมติฐานที่ว่าสสารมืดสามารถที่จะมีอันตรกิริยากับอนุภาคในแบบจำลองมาตรฐาน (Standard Model) ได้ มิเช่นนั้นเราจะไม่สามารถตรวจหาสสารมืดได้เลย



https://indico.cern.ch/event/387916/

ภาพ Standard Model (Left) and Beyond Standard Model (Right)



ภาพ Properties of WIMPs

3. วิธีการตรวจหาสสารมืด

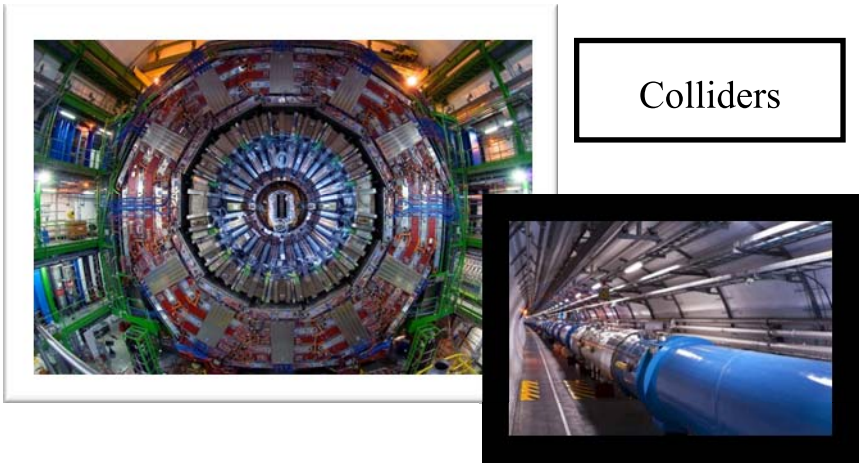
วิธีการตรวจหาสสารมืดมีด้วยกัน 3 วิธี คือ การตรวจวัดทางตรง (Direct Detection) การตรวจวัดทางอ้อม (Indirect Detection) และจากเครื่องเร่งอนุภาค (Colliders)

ภาพ Direct Detection

การตรวจหาสสารมืดทางตรง (Direct Detection) จะเป็นการสังเกตการณ์เกิดอันตรกิริยาของสสารมืดกับนิวเคลียสของอะตอม โดยวิธีการนี้จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการทดลองใต้ดิน เพื่อเป็นการกรองรังสีจากอวกาศในส่วนหนึ่ง โดยมีการทดลองต่าง ๆ มากมายดังในภาพด้านบนเป็นต้น

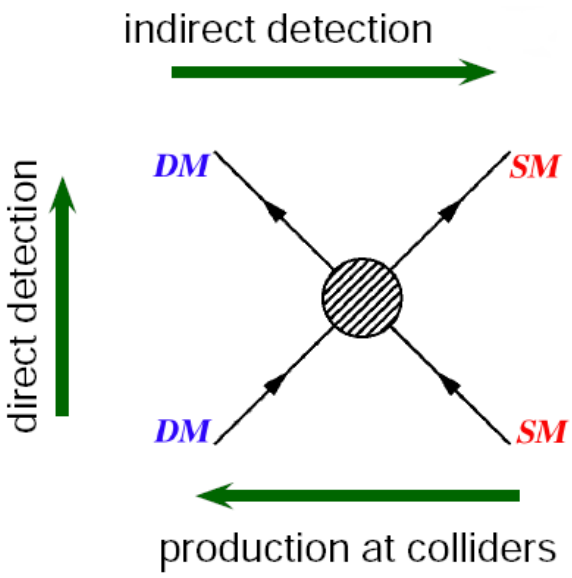
Indirect Detection

ต่อมาคือวิธีการตรวจหาสสารมืดทางอ้อม (Indirect Detection) ซึ่งตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าสสารมืดสามารถเกิดการประลัยคู่ (annihilation) ไปเป็นอนุภาคมูลฐานได้ โดยการศึกษาอนุภาคที่ได้มาเหล่านี้ ก็จะสามารถย้อนกลับไปหาคุณสมบัติของสสารมืดได้นั่นเอง



สุดท้ายคือวิธีใช้เครื่องเร่งอนุภาค (Colliders) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในงานนี้ โดย Large Hadron collider (LHC) เครื่องเร่งอนุภาคของเซิร์นในปัจจุบันนั่นเอง

โดยวัตถุประสงค์หลักของ LHC คือ ศึกษาฟิสิกส์ที่พลังงานในระดับของเทระอิเล็กตรอนโวลต์ เพื่อที่จะเข้าใจถึงพื้นฐานและพฤติกรรมของสสารที่อยู่รอบ ๆ ตัวเรา ตลอดจนปริศนาของฟิสิกส์ โดยเฉพาะฟิสิกส์อนุภาค ดังเช่นอนุภาคสสารมืดนั่นเอง ซึ่งเป็นทฤษฎี ที่อนุภาคตามแบบจำลองมาตรฐานไม่สามารถให้คำตอบกับเราได้



ภาพแสดงวิธีการตรวจหาสสารมืดแต่ละวิธี

4. โปรเจคสสารมืด

ในโปรเจคนี้เป็นการหาความเป็นไปได้ที่เราจะค้นหาอนุภาคสสารมืด โดยเครื่องเร่งอนุภาคในอนาคตที่ฟิสิกส์ระดับ 33 TeV (ที่กำลังรันอยู่ในปัจจุบันนี้โดย LHC อยู่ที่ 13 TeV) เนื่องจากว่า LHC ถูกออกแบบมาให้รันในฟิสิกส์ระดับพลังงานสูงสุดที่ 14 TeV เท่านั้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีเครื่องเร่งอนุภาคใหม่ ๆ เพื่อรองรับงานวิจัยของฟิสิกส์ในระดับพลังงานสูงต่อไปเรื่อย ๆ

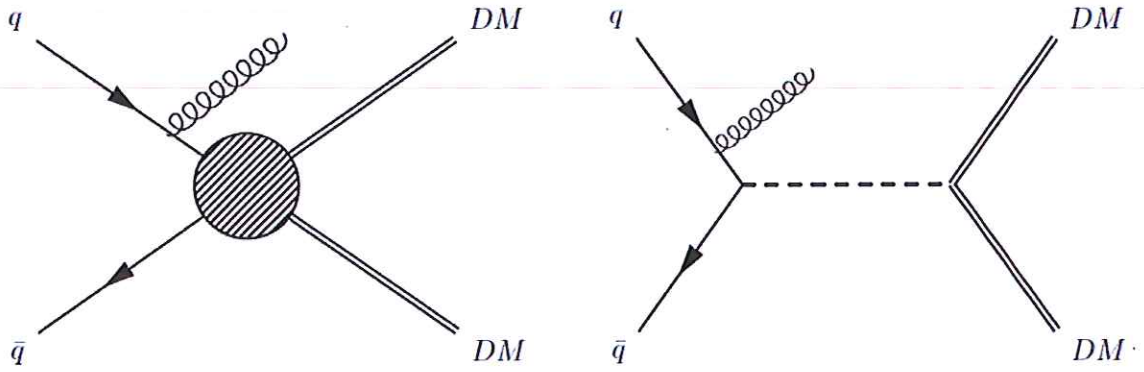
แต่เนื่องจากว่า งานที่ทำในครั้งนี้อยู่ที่ฟิสิกส์ระดับ 33 TeV ซึ่งแน่นอนว่าในปัจจุบันไม่มีเครื่องเร่งที่เร่งได้ในระดับพลังงานนี้ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้ข้อมูลจาก simulation เพื่อที่จะศึกษาว่า หากในอนาคตเราสามารถที่จะสร้างเครื่องเร่งอนุภาคได้ในระดับพลังงานนี้ แล้วเราจะค้นหาสสารมืดได้ไหมในระดับพลังงานนี้ หรือหากยังไม่เจอแล้วจะสรุปได้ว่าเราจะมีความสามารถในการค้นหาสสารมืดได้มากน้อยแค่ไหน

โดยเราจะนำข้อมูลนี้มาประยุกต์ใช้กับโปรแกรมจำลองการตรวจวัดโดย detector ซึ่งโปรแกรมที่เราใช้มีชื่อว่า DELPHES โดนเวอร์ชั่นที่ใช้คือ 3.2.0 และข้อมูลของฟิสิกส์ที่ 33 TeV นำมาจาก SNOWMASS2013 ที่จำนวนลำอนุภาคที่เกิดการ crossing กัน เท่ากับ 50 ต่อ 1 bunch

การมีอยู่ของสสารมืดในเหตุการณ์นี้สามารถสรุปได้จากความไม่สมดุลของโมเมนตัมตามขวาง (transverse momentum) ทั้งหมดของอนุภาคที่ถูกสร้างขึ้นมาใหม่หลังจากการชนกันของโปรตอน โดยขนาดของโมเมนตัมตามขวางที่หายไปนั้นสามารถถูกสรุปจากพลังงานตามแนวขวางที่หายไป (missing transverse energy) โดยเหตุการณ์ที่ใช้เป็นแบบ monojet โดย jet เป็นเหตุการณ์เมื่อควาร์กซ์เดี่ยวที่มี

พลังงานสูงปล่อยพลังงานออกมา ทำให้เกิดการรวมตัวเพื่อสร้างอนุภาค hadron (อนุภาคที่ประกอบด้วยควาก์ซ) หรือเรียกได้ว่าเป็นรูปกรวยที่แน่นหนาของอนุภาคที่ถูกสร้างจากกระบวนการ hadronization ของ quark เดี่ยว ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่พลังงานสามารถเปลี่ยนเป็นมวลได้ จากสมการของไอน์สไตน์ $E = mc^2$ นั่นเอง

โดยสัญญาณของ monojet นี้ จะถูกใช้เพื่อค้นหาผลผลิตคู่ของ WIMPs (dark matter candidate) ที่สอดคล้องกับ jet จาก initial-state radiation (ISR) ซึ่งจะนำไปสู่สิ่งที่เราจะค้นหาต่อไป โดยจะสังเกตได้ว่ากระบวนการที่เราใช้นั้น สสารมืดสามารถมีปฏิสัมพันธ์กับอนุภาคมูลฐานได้บ้าง มิเช่นกันแล้วเราก็จะทำตามในกระบวนการเหล่านี้ไม่ได้ ซึ่งจากหัวข้อ "วิธีการตรวจหาสสารมืด" วิธีการที่เราใช้คือวิธีการที่ 3 นั่นคือ "Colliders" นั่นเอง หากสังเกตจาก "รูปภาพแสดงวิธีการตรวจหาสสารมืดแต่ละวิธี" ก็จะตรงกับลูกศรสีเขียวที่ชี้ไปทางซ้ายมือที่มีชื่อว่า "production at colliders" โดยเป็นเหตุการณ์ที่ผลจากคู่ของอนุภาคมูลฐานทำให้เกิดคู่ของอนุภาคสสารมืด



ภาพ Feynman diagrams ของเหตุการณ์ monojet ซึ่งเป็นแบบ gluon jet จาก initial state radiation สำหรับผลผลิตคู่ของสสารมืดในกรณีของ contact interaction (ซ้าย) และ exchange of a mediator (ขวา)

ในส่วนของการทำ selection cuts ของเหตุการณ์ต่าง ๆ เราได้อิงตามการทำ selection cuts ของเหตุการณ์ proton-proton collisions ที่ $\sqrt{s}$ = 8 TeV [1] ที่มี normalized integrated luminosity [3] เท่ากับ 19.7 fb^{-1} (inverse femtobarn) ซึ่งกลุ่มของข้อมูลการประมาณพื้นหลังที่เราใช้มีดังนี้ Boson + jets, Single Top, Top pair, Diboson

โดยมี Selection cuts ในเหตุการณ์ตามลำดับดังนี้

1. Missing transverse energy (MET) มากกว่า 200 GeV
2. Jet ตัวที่มีขนาดของ Transverse momentum มากที่สุดมีค่ามากกว่า 110 GeV/c และมีขนาดของ η [2] น้อยกว่า 2
3. จำนวนของ Jet ไม่เกิน 2
4. ค่ามุม ϕ [2] ระหว่าง Jet ตัวที่มีขนาดของ Transverse momentum มากที่สุดกับตัวที่มีขนาดรองลงมา มีค่าน้อยกว่า 2

5. Muon veto โดยค่า Transverse momentum ของมิวออนมีค่ามากกว่า 10 และค่า η ของมิวออนมีค่าน้อยกว่า 2.4
6. Electron Veto โดยค่า Transverse momentum ของอิเล็กตรอนมีค่ามากกว่า 10 และค่า η ของอิเล็กตรอนมีค่าน้อยกว่า 2.1
7. Tau Veto โดยค่า Transverse momentum ของทาวมีค่ามากกว่า 20 และค่า η ของทาวมีค่าน้อยกว่า 2.3

โดยจะมี cuts ของ MET ที่มากกว่าค่าเหล่านี้ตามลำดับคือ 300 GeV, 400 GeV, 500 GeV, 600 GeV, 700 GeV, 800 GeV, 900 GeV และ1000 GeV

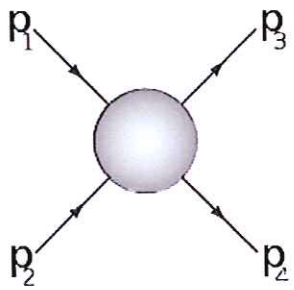
เนื่องจากว่า เรายังไม่ทราบค่าข้อมูลการกระจายตัวของพื้นหลังที่ center-of-mass energy เท่ากับ 33 TeV ดังนั้นเราจึงตั้งค่า normalized integrated luminosity ให้เท่ากับ 10 fb^{-1} ไว้ก่อน หากเราทราบค่าดังกล่าวแล้วเราก็สามารถแปลงเป็นค่านั้น ๆ ได้ทันที

ในส่วนของผลของงานในครั้งนี้ก็จะอยู่ในบทถัดไป ซึ่งเป็นพล็อตของการกระจายตัวของพื้นหลังทั้งหมดหลังจากที่ผ่านกระบวนการ selection cuts ต่าง ๆ แล้ว ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ก็จะถูกใช้เพื่อที่จะหา exclusion limit ต่อไป เพื่อนำไปสู่คำตอบที่ว่าเราสามารถหาสสารมืดได้ไหม ถ้าหากว่ายังไม่ได้แล้วงานที่เราทำนี้ได้แสดงว่าเราสามารถที่จะ probe หาสสารมืดได้มากแค่ไหนนั่นเอง

หมายเหตุ

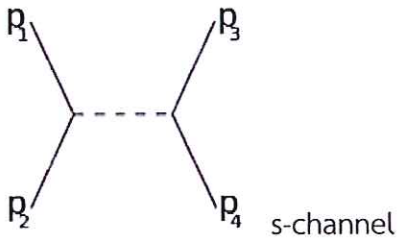
1. Mandelstam variables

เป็นจำนวนตัวเลขที่บ่งบอกถึงพลังงาน, โมเมนตัม, และมุมของอนุภาคในกระบวนการ scattering ในรูปแบบ Lorentz-invariant



s = (p1 + p2)^2 = (p3 + p4)^2
t = (p1 – p3) ^2 = (p2 – p4) ^2
u = (p1 – p4) ^2 = (p2 – p3) ^2
โดย p คือ four-momenta

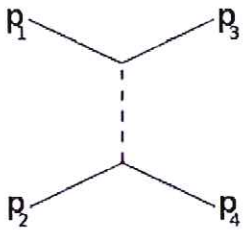
s คือ "the square of the center-of-mass energy"
t คือ the square of the four-momentum transfer
ใน Feynman diagrams



s-channel

t-channel

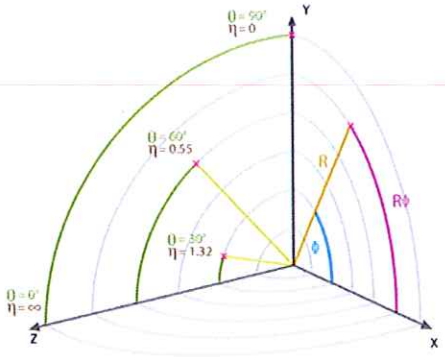
(space-channel)



(time-channel)

∴ $\sqrt{s}$ ก็คือ center-of-mass energy ของการชนกันของอนุภาคนั่นเอง

2. CMS Coordinate System



โดยแกน x ชี้ไปที่ center of LHC ส่วนแกน Z คือทิศ beam line

- Azimuthal Angle (ϕ)

มุมที่วัดขึ้นจากแนวแกน x

- Pseudorapidity (η)

$$\eta \equiv -\ln[\tan(\frac{\theta}{2})]$$

เป็นการวัดความเร็วของอนุภาคที่สัมพันธ์กับลำอนุภาคเดิม โดยประมาณจากมุมของมันที่วัดจากแกน Y (ตั้งฉากกับแกนลำอนุภาค) ลงมาเทียบกับแกน Z (แกนลำอนุภาค) โดยอนุภาคที่มีค่า Pseudorapidity สูง ๆ ก็จะมีโอกาสหลุดออกจากการตรวจวัดของเครื่องมากขึ้น

3. Luminosity

$$L = \frac{1}{\sigma}\frac{dN}{dt}$$

σ คือค่า cross section, $\frac{dN}{dt}$ คือ จำนวนเหตุการณ์เทียบกับเวลา

$\therefore$ integrated luminosity คือ

$$L_{int} = \int L\, dt$$

โดยเป็นค่าที่อธิบายลักษณะประสิทธิภาพของเครื่องเร่งอนุภาค ถ้าค่านี้มากก็จะมีข้อมูลให้วิเคราะห์ได้มากขึ้น

บทที่ 3

CERN Summer Student Report

Search for dark matter in monojet events in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 33$ TeV

Parinya Kareeso

Department of Physics, Faculty of Science

Kasetsart University, Bangkok, Thailand

Supervisor

Dr. Norraphat Srimanobhas

CMS, CERN and Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

Abstract

Dark matter becomes an important goal to be searched for many particle physics experiments. The future colliders are also an important step to search for the dark matter, i.e. for 100 TeV machine. In this project, it is studying about the possibility to probe the dark matter at 33 TeV proton-proton collider which is from Standard Model backgrounds to evaluate the discovery potential using the single jet and missing transverse energy. This project can be a part in the motivation for future colliders.

1. Introduction

The compositions of universe can be analyzed from the cosmic microwave background or CMB. From the data of the Planck satellite, the Universe is composed of 3 components. There are only 5% of ordinary matter, 68% of dark energy and 27% of dark matter. There are several evidences that support the existence of dark matter such as rotation curves of galaxies, gravitational lensing and structure formation of Universe.

There are 3 different ways to search for the existence of dark matter including direct detection, indirect detection and collider. The future collider is the way used in this work.

The most popular candidate of dark matter particle is Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs) which is a popular type of extension to the standard model of particle physics. They need to be weakly interaction, massive, neutral, no color, stable on cosmological timescales and non-relativistic or cold to form the structure formation of the universe. They remain

undetected and their presence in an event must be inferred from an imbalance of the total momentum of all reconstructed particles in the plane transverse to the beam axis. The magnitude of such an imbalance is referred to as missing transverse energy (MET). The monojet signature can be used to search for the pair production of WIMPs in association with a jet from initial-state radiation (ISR), which is used to tag or trigger the event.

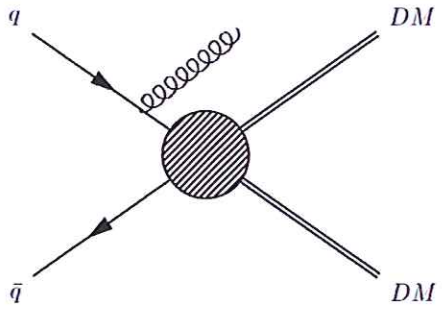


Fig. 1: Feynman diagrams for the pair production of DM particles with a jet emitted from an initial state radiation (ISR).

2. Objectives

To obtain background distributions after passing all selection cuts which are provided for applying data from generator level analysis. The background distributions' data is collected correspond to a normalized integrated luminosity of 10 fb^{-1} with proton-proton collision at a center-of-mass energy of 33 TeV by using DELPHES.

3. Methodology

3.1 Detector Simulation

Background Samples for 33 TeV LHC used in this work are from SNOWMASS2013 [3]. All background estimations are simulated with detector simulation named DELPHES - 3.2.0. Pile up effect of 50 pp interactions per bunch crossing had been included in these simulations.

3.2 Event Selection

The selection cuts below are based on the monojet events in proton-proton collisions at 8 TeV, correspond to the normalized integrated luminosity of 19.7 fb^{-1}

Data sets: Boson + jets, Single Top, Top pair, Diboson

Selection cuts:

MET > 200 GeV

j_1: $p_T > 110$ GeV/c, $|\eta| < 2$

Number of jets ≤ 2

$\Delta\phi(j_1, j_2) < 2$

Muon veto (Muon's $p_T > 10$ and Muon's Eta < 2.4)

Electron Veto (Electron's $p_T > 10$ and Electron's Eta < 2.1)

Tau Veto (Tau's $p_T > 20$ and Tau's Eta < 2.3)

MET > 300 GeV, 400 GeV, 500 GeV, 600 GeV, 700 GeV, 800 GeV, 900 GeV and 1000 GeV

3.3 Background estimation

Boson + jets, which is the electroweak background mainly from "invisible Z" decays and W+jets, is a dominant background remaining after the monojet event selection. The other background processes are top pair production, single top quark and diboson processes, include ZZ, WZ, and WW.

4. Results

The results are not weighted for each event.

4.1 DELPHES analysis

Numbers of events in the table below come from different integrated luminosity. In fact, they should be normalized with some different factor to the same integrated luminosity which is 10 fb^{-1} before adding them together.

Selection Cuts	Boson + jets	Single Top	Top pair	Diboson	Total BG
MET > 200	3764484	3510145	10594331	1489799	19358759
J1	3652856	3188605	10390640	1301965	18534066
Number of jets ≤ 2	245196	226689	135138	162951	769974
Delta Phi	112714	70006	35814	106750	325284
Muon veto	80181	40140	18205	68768	207294
Electron Veto	46821	9342	4168	34858	95189
Tau Veto	41675	5364	2053	26095	75187
MET > 300	25594	2807	870	16100	45371
MET > 400	20318	1378	493	11638	33827
MET > 500	17276	788	343	7779	26186
MET > 600	13960	578	274	3744	18556
MET > 700	12086	384	223	1642	14335
MET > 800	11013	270	174	668	12125
MET > 900	10030	189	136	220	10575
MET > 1000	8696	131	111	32	8970

Table 1: Number of Events selected at each step of the analysis, for simulation.

4.2 Background distributions

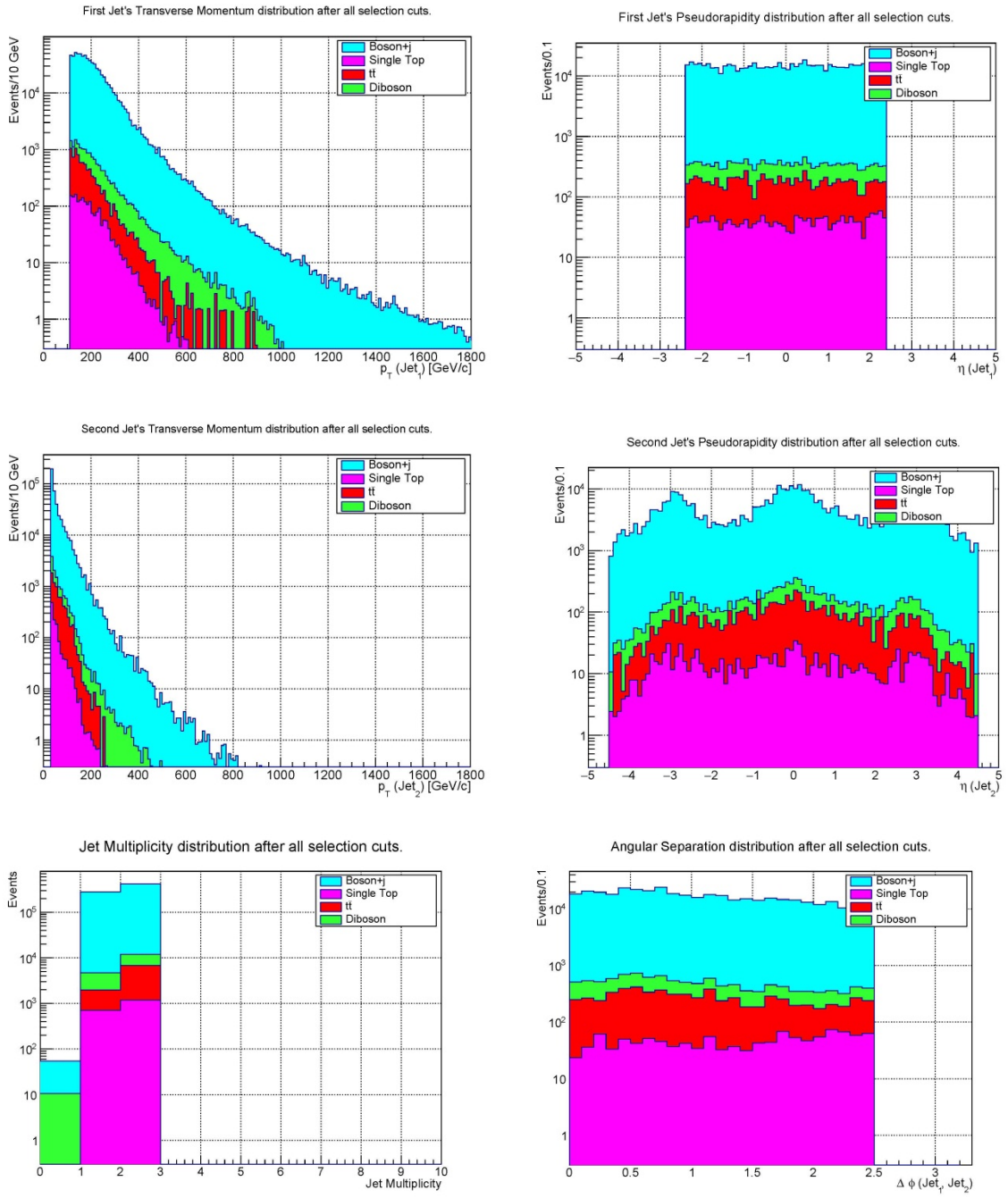


Fig. 2: Plots of basic selection variables for jets

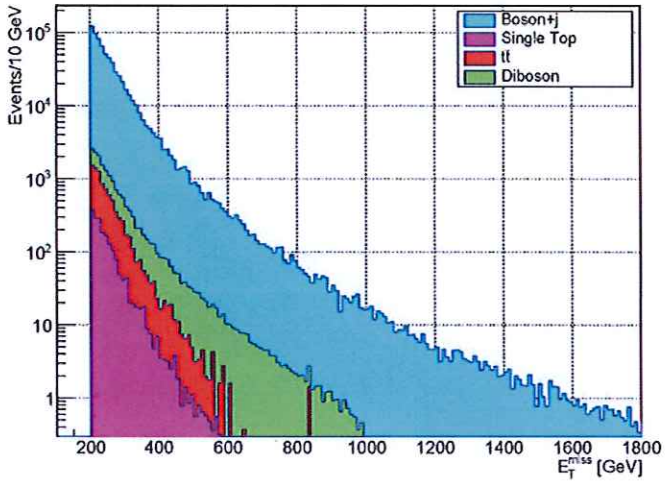


Fig. 3: The missing transverse energy after passing all selection cuts.

5. Summary

Background distributions after passing all selection cuts in the results are leading jet's transverse momentum, second jet's transverse momentum, leading jet's pseudorapidity, second jet's pseudorapidity, angular separation between leading jet and second jet, jet multiplicity and missing transverse energy where boson+jets is the dominant background. Their data will be used to find exclusion limit at some confident level in the next steps in order to know how far we can probe dark matter.

References

[1] CMS Collaboration, Search for dark matter, extra dimensions, and unparticles in monojet events in proton-proton collisions at $\sqrt{s}$ = 8 TeV. Eur. Phys. J. C 75, 235 (2015). doi: 10.1140/epjc/s10052-015-3451-4

[2] Anwar Bhatti et al., Search for New Physics in the Monojet final state at CMS. CMS Draft Analysis Note CMS AN-12-421 (2014)

[3] SNOWMASS2013, https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/CMSPublic/NPSnowmass2013Samples#Background_Samples_for_33_TeV_LH (2015)

บทที่ 4
ประสบการณ์และข้อแนะนำ

ในบทนี้ข้าพเจ้าจะกล่าวเล็ก ๆ น้อย ๆ เกี่ยวกับประสบการณ์ที่ข้าพเจ้าได้รับขณะเข้าร่วมกิจกรรมที่เซิร์น ไม่ว่าจะเป็นเรื่องประสบการณ์ทางด้านของการทำงาน การให้ชีวิตร่วมกับสังคมและวัฒนธรรมอันหลากหลายของที่นี่ และข้อเสนอแนะเพื่อไว้ให้สำหรับนักศึกษารุ่นต่อ ๆ ไปไว้พิจารณาเพื่อที่จะได้วางแผนต่อไปได้ในอนาคต สุดท้ายคือแผนการของข้าพเจ้าหลังจากการเข้าร่วมในโครงการนี้แล้ว

ประสบการณ์ในด้านต่าง ๆ

- ด้านการทำงาน

ในการมาเข้าร่วมกิจกรรมในครั้งนี้ ข้าพเจ้าได้รับประสบการณ์ทางด้านของการทำงานเยอะมาก ซึ่งทำให้ตอนนี้ข้าพเจ้าได้มีพัฒนาการของตนเองมากขึ้น ถึงแม้ว่าในช่วงของกิจกรรมตัวของข้าพเจ้าเองจะมีความเครียดกับงานเป็นอย่างมากก็ตาม เนื่องจากว่างานที่ข้าพเจ้าทำเป็นงานที่ต้องประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านฟิสิกส์ โดยเฉพาะทางด้านของฟิสิกส์อนุภาค ซึ่งส่วนใหญ่แล้วยังไม่ค่อยมีในระดับปริญญาตรีอย่างแพร่หลาย ซึ่งโดยทั่วไปสามารถอ่านเพิ่มเติมเองได้โดยไม่ยากนัก แต่ต้องมีผู้ที่มีความรู้คอยแนะ เพราะบางอย่างก็ยากไปสำหรับผู้ที่เริ่มต้นใหม่ แล้วโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่จะต้องทำความเข้าใจให้ได้ภายในระยะเวลาอันสั้น โดยจะประยุกต์ความรู้เหล่านี้ผ่านทางคอมพิวเตอร์ นั่นคือการเขียนโปรแกรมล้วน ๆ นั่นเอง ซึ่งในปีนี้ตัวข้าพเจ้าเองนั้นเป็นเพียงนักศึกษาสาขาวิชาฟิสิกส์เพียงหนึ่งเดียว ที่ได้รับคัดเลือกเป็นตัวแทนมาเซิร์นในครั้งนี้ จึงไม่มีเพื่อนร่วมงานแบบเดียวกันที่จะคอยปรึกษาเรื่องงานได้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือเป็นการยากที่นักศึกษาฟิสิกส์ผู้ที่ประสบการณ์ทางการเขียนโปรแกรมอันน้อยนิดแล้วยังต้องมาทำงานทางด้านนี้อีก ซึ่งต่างกันโดยสิ้นเชิงกับเด็กสาขาคอมพิวเตอร์ ที่มีความรู้ทางด้านนี้มาอยู่แล้ว แล้วจึงมาทำการศึกษาต่อยอด แต่ทว่าการที่เราได้มาเปิดโลกทัศน์ด้วยความสามารถอันน้อยนิดนี้ ทำให้เมื่อกลับมาแล้ว จึงทำให้เราได้รับประสบการณ์อันมากมายเหล่านี้กลับมาด้วยนั่นเอง พร้อมทั้งเรายังได้ฝึกอะไรต่าง ๆ อย่างมากมายเช่นกัน สรุปว่างานของข้าพเจ้าในครั้งนี้โดยรวมแล้วต้องพึ่งตัวเองเป็นอย่างมาก ดังนั้นการที่เราฝึกฝนตนเองให้ดีแล้วก็จะมีตนเองเป็นที่พึ่งที่ดีนั่นเอง โดยข้าพเจ้ามีเวลาในการเขียนโค๊ดโปรแกรมของงานจริง ๆ เพียงแค่ 18 วันเท่านั้น จึงทำให้ไม่มีเวลาที่จะตรวจสอบงาน จึงส่งผลให้ผลของงานผิดไปเล็กน้อย ถึงผลผิดบ้างแต่ข้าพเจ้าก็คิดว่าตัวของข้าพเจ้าเองนั้น “มีแต่ได้” เพราะคติที่ว่า “ทำถูกถือว่าได้กำไร ทำผิดถือว่าได้ประสบการณ์”

- สังคมและวัฒนธรรม

นอกจากประสบการณ์การทำงานที่เราได้รับมาเต็มๆ แล้ว เราก็ยังได้มีโอกาสที่ดี ในการเรียนรู้สังคมและวัฒนธรรมจากผู้คนมากมายหลายที่ทั่วโลก โดยเฉพาะในวันสำคัญต่าง ๆ เมื่อเราไปเยี่ยมชมในกิจกรรมนั้น ๆ เราก็จะได้เห็น ได้เรียนรู้ และได้เข้าใจกับวัฒนธรรมของเขาได้เป็นอย่างดี หรือแม้แต่การไปเที่ยวตามสถานที่ต่าง ๆ ในวันเสาร์ อาทิตย์เป็นต้น ก็จะช่วยเป็นการเปิดโลกทัศน์ให้กับเรามากขึ้น หากกล่าวถึงภายในเซิร์นโดยเฉพาะนักศึกษาภาคฤดูร้อนส่วนใหญ่ที่เป็นนักศึกษาจากสาขาวิชาฟิสิกส์ แน่นอนว่าบุคลิกของผู้ที่ชื่นชอบวิชาอันแสนยากนี้ ส่วนใหญ่แล้วจะไม่ค่อยเหมือนชาวโลกทั่วไป ซึ่งนี่ก็เป็นส่วนตลกเล็ก ๆ น้อย ๆ แต่ทว่าสิ่งที่สำคัญยิ่งกว่านั่นคือ มิตรภาพ และความผูกพันกับผู้คนที่นั่น ซึ่งเป็นสิ่งที่ดีอันลืมได้ยาก

- ภาษา

โดยส่วนตัวแล้วข้าพเจ้าเป็นผู้ที่ไม่ได้มีพื้นฐานทางภาษาที่ดีมากเท่าไรนัก โดยเฉพาะทักษะการพูด ซึ่งตัวข้าพเจ้าเองเป็นคนพูดน้อยอยู่แล้ว ทำให้การฝึกทางทักษะนี้เป็นไปได้ช้า การทำงานส่วนใหญ่ที่นี่จะใช้ภาษาอังกฤษเป็นหลัก นั่นคือเป็นโอกาสที่ดีที่จะได้ฝึกฝนภาษาอังกฤษ และยังเป็นโอกาสที่ดีอีกเช่นกันที่เราจะได้ฝึกภาษาฝรั่งเศส โดยใช้แค่ประโยคแบบง่าย ๆ สำหรับทักทายและขอบคุณ โดยเฉพาะเมื่อไปตามห้างหรือไม่ก็แม่บ้านในโฮสเทล ซึ่งบางท่านนั้นก็พอพูดภาษาอังกฤษได้ดี แต่บางท่านก็ไม่สามารถพูดภาษาอังกฤษได้เลย ถามภาษาอังกฤษไปแต่ได้ภาษาฝรั่งเศสกลับมา เล่นทำเอาตัวข้าพเจ้าต้องใช้ภาษามือภาษากายสนุกเลยทีเดียว

ข้อแนะนำสำหรับนักศึกษารุ่นต่อไป

1. ภาษา

ส่วนใหญ่แล้วการมาทำงานที่นี่จะใช้ภาษาอังกฤษเป็นหลัก แต่ก็จะมีการใช้ภาษาฝรั่งเศสบ้างเล็ก ๆ น้อย ๆ แค่ประโยคทักทายและขอบคุณ

2. การทำงาน

ต้องมีความกระตือรือร้นเป็นพิเศษ เมื่อสงสัยหรือมีปัญหาประการใดก็ต้องพยายามค้นหาในอินเตอร์เน็ตให้ได้เป็นหลัก

3. เพื่อน

เวลามีงานเลี้ยงสังสรรค์ก็จะเป็นโอกาสที่ดีในการที่จะทำความรู้จักกับเพื่อนชาวต่างชาติคนอื่น ๆ หรืออีกอย่างหนึ่งคือการไปเที่ยวนอกสถานที่ เพราะว่าเมื่อเราอยู่ที่เซิร์นส่วนใหญ่แล้วก็หมดเวลาไปกับการฟังบรรยาย แล้วต่อด้วยการมุ่งทำงานของตนเอง แต่ก็ยังพอมีเวลาบ้างเช่นช่วงรับประทานอาหารกลางวัน

4. ที่พัก

ที่พักที่เซิร์นจัดให้มีทั้งหมด 2 ที่ ได้แก่ CERN hostel ซึ่งอยู่ในเซิร์น ฝั่งสวิสเซอร์แลนด์และที่พักที่ Robert Schumann hostel ฝั่งฝรั่งเศสโดยที่ CERN hostel จะมีความสะดวกสบายเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะมีห้องครัวที่มีเครื่องครัวพร้อม ทั้งช้อนส้อม จานชาม หม้อ กระทะ มีดเขียง ไมโครเวฟ เตาไฟฟ้า เตาอบ และตู้เย็น แต่ปัญหาที่ได้ยินมาคือห้องครัวที่นี่จะมีความวุ่นวายมาก เพราะเป็นห้องครัวที่ใช้ร่วมกันทั้ง hostel แต่ถ้าหากต้องการห้องที่ราคาถูกลงมา ควรเลือกพักห้องเดี่ยวที่ Schumann ซึ่งมีแบบห้องน้ำในตัวกับแบบห้องน้ำรวม โดยข้าพเจ้าเองพักที่นี่โดยเลือกแบบห้องน้ำส่วนรวม ซึ่งในความคิดของข้าพเจ้าแล้วห้องน้ำส่วนรวมก็ไม่ได้ต่างไปจากห้องน้ำที่มีภายในตัวห้อง เพราะว่าห้องของข้าพเจ้าอยู่ใกล้ห้องน้ำเลยได้รับความสะดวกสบายมาก แถมยังไกลจากห้องครัวซึ่งอาจจะมีเสียงดังบ้าง แถมห้องแบบนี้ยังประหยัดกว่าแบบห้องน้ำในตัวถึงวันละ 10 ยูโรเลยทีเดียว หากท่านต้องการห้องราคาประหยัด โดยคิดว่าเป็นเพียงการพักอาศัยอยู่ชั่วคราวเท่านั้นไม่ได้หวังความสบายที่มากไป ข้าพเจ้าก็ขอแนะนำแบบที่ข้าพเจ้าอยู่ โดยที่นี่ที่ห้องครัวที่มีไมโครเวฟ หม้อ กระทะ เตาไฟฟ้า และตู้เย็น (ไม่ค่อยเย็นนัก) แต่ต้องเตรียมอย่างอื่นไปเอง ซึ่งห้องครัวที่นี่ไม่ได้มีความวุ่นวายแบบที่พักที่เซิร์น โดยจะมีรถรับส่งของเซิร์นทุกวันจันทร์ถึงศุกร์คอยให้บริการ

5. การทำอาหาร

อาหารที่นี่ส่วนใหญ่มากมีแต่รสชาติจืด ๆ ดังนั้นสำหรับคนที่ชอบรับประทานอาหารไทย แนะนำให้เตรียมน้ำพริก เครื่องแกง เครื่องปรุงสำเร็จรูปไปด้วย เพราะบางทีเราอาจจะมีโอกาสทำอาหารไทยไปแบ่งปันให้กับเพื่อน ๆ ชาวต่างชาติก็เป็นได้ ซึ่งสำหรับที่พักฝั่งฝรั่งเศส Schumann Hostel จะมีอุปกรณ์ในการทำอาหารให้บางส่วน ได้แก่ กระทะ หม้อ และจานช้อนส้อมพลาสติก และขอแนะนำให้เตรียมกล่องอาหารที่

สามารถใช้กับไมโครเวฟได้สัก 2-3 กล่อง เผื่อไว้แช่อาหารไว้ในตู้เย็นด้วย นอกจากนี้ควรเตรียมมีด สำหรับประกอบอาหารมาด้วย โดยที่พักที่ Schumann Hostel จะใกล้กับ Carrefour เป็นอย่างมาก จึงมีความสะดวกสบายในการจับจ่ายอาหารเป็นพิเศษ

แผนการหลังเข้าร่วมโครงการ

ข้าพเจ้าจะช่วยให้คำปรึกษาแก่นักศึกษารุ่นต่อ ๆ ไปเกี่ยวกับรายละเอียดของโครงการ และช่วยประชาสัมพันธ์โครงการนี้ ตลอดจนส่งเสริมให้มหาวิทยาลัยเดิมของข้าพเจ้าให้มีการเรียนการสอนการเขียนโปรแกรมด้วย C++ เป็นต้น และข้าพเจ้าจะนำความรู้ที่ได้รับมา ไปประยุกต์ใช้กับการศึกษาในระดับปริญญาโทสาขาวิชาฟิสิกส์ต่อไป ซึ่งจะทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อตัวข้าพเจ้าเองเป็นอันดับแรก และตามด้วยสังคมและประเทศชาติเป็นลำดับถัดไป

ภาคผนวก

Diary:

Wednesday 3rd June, 2015

I went to Suvarnabhumi airport. Thanks Dr. Maneenate Wechakama, my friend Chalit Muanglay, my older sister Chonticha Kareesor and her friend for sending me to the airport. After that I went aboard by Emirates airline with Krittaphat Pugdeethosapol who is the summer student from Thailand. I felt very excited because this is the first time that I go aboard and travel by plane.

Thursday 4th June, 2015

I departed from Bangkok at 02:40 and arrived to Dubai at 05:45. When the time was 08:30, I departed from Dubai to Switzerland. I reached Geneva at 13:20. Before I went out of the airport, I pressed the button on the machine for the free ticket to go to CERN. When we were walking out, we saw Dr. Norraphat Srimanobhas standing for meeting us in the Geneva Airport and then we went to CERN by the Y-bus. We reached CERN first before the hostel. When we were there, Dr. Norraphat helped us to get the internet account for using the internet at CERN. When we could use the internet there, I immediately went to Saint Genis Hostel called "Foyer Robert Schuman" with my friend by Y-bus again because there is no any CERN bus for service on Saturdays and Sundays. When we had kept all bags, we went together to the Carrefour supermarket in France for food. We have to pay in EUR only but I didn’t have the money in EUR so I borrowed Krittaphat 20 EUR for paying the food

there. In the evening I had some jet lag symptoms so I had to sleep as quickly as possible.

Friday 5th June, 2015

In the afternoon I saw the 12 students and other people from Thailand at CERN and then we took photos together and talked a little. About 2 hours later, Dr. Norraphat helped me for CERN application as an external person. We had many problems because I reached here before the summer student programme will begin. Although we had the problems for this application, finally I could finish this so I got the CERN account!

Saturday 6th June, 2015

I and Krittaphat went outside by the tram to find some wares because he broke the plate in the microwave in the hostel. We couldn't fine the plate in the same size with old one so we went back to CERN because Dr. Norraphat called us to get something. We got the kitchenware from Dr. Norraphat at his CERN's office. It helped us a lot to make the meal especially the rice cooker. After that I got the paper from Dr. Norraphat. The topic is "Search for dark matter, extra dimensions, and

unparticles in monojet events in proton-proton collisions at $\sqrt{S}$ = 8 TeV ". I had to read all and focus on the sub topic of dark matter. I had to search more information in the internet about this paper which I still didn't understand. After that I planned to write the report about the summer student program.

Sunday 7th June, 2015

I had to fine the Automatic Teller Machine (ATM) for money in EUR in France side because I can't use the Thai debit card for money in EUR at UBS, the bank at CERN. Unfortunately, the ATM in Carrefour was crash so I asked a guard at there and fortunately I found it far away from Carrefour about 300 meters. When I came back to my hostel, I continued reading the paper I got.

Monday 8th June, 2015

Today I practiced the pre-exercise for the PAT tutorial in the computer whole day. In this tutorial there are the introduction and 14 exercises! This is too much. I didn't have anything else to do because the summer student programme has not yet started.

Tuesday 9th June, 2015

I continued to do the exercise and searched more information which is related with this exercise. Because it is new thing for me to learn so I took a long time to do this exercise. I still read my paper and searched for some keywords in the internet.

Wednesday 10th June, 2015

I still continued to study the exercise. After that I started to do the advance exercise. When I finished that, I continued to read the paper and I had to focus on the sub topics of "Event selection" and "Background estimate" in the paper. When I didn't know something in these titles, I had to search in the internet for more information. I couldn't ask anyone. It is very different when I did the senior project in the university.

Thursday 11th June, 2015

I got the new paper. It is "CMS Draft Analysis Note" which is internal use and distribution in CMS only. This analysis note is about searching for new physics in the monojet final state at CMS which explains further understanding of old paper that I got.

Friday 12th June, 2015

I continued reading the analysis note. I read focus on the analysis note in the topic of "Data driven background estimation" which explains about estimation of $Z(\nu\nu)$ background and estimation of W+jets background. I was confused something about these even though I searched them.

Saturday 13th June, 2015

Today is a day of my relaxation but I still read the analysis note because I could read and understood the English slow and some information is hard to understand.

Sunday 14th June, 2015

Peerut Boonchokchuay, the last summer student from Thailand, arrived to Geneva at 13:20 by Emirates airline so I, Krittaphat and Dr. Norraphat took him to CERN. In this evening, we cooked together for dinner at Saint Genis hostel. The menus are the boiled chicken and the omelet. After we finished the dinner I had to read and summarized in the topic of "Data driven background estimation"

Monday 15th June, 2015

Today is the first day of summer student programme. I saw many summer students in front of the CERN hostel. We watched the introduction about CERN and acknowledged about the activity. Many summer students were going together to do the CERN card and registered the CERN account at registration service. I met and talked with other summer student from various countries. They spoke fluent English as their language. After that I borrowed a CERN bike and then got a helmet and

reflective vest. When I give the bike back, I didn't need to give the helmet and reflective vest back because they are free.

Tuesday 16th June, 2015

I continued reading in the topic of "Data driven background estimation" and I had to make a power point to conclude this topic because Dr. Norraphat gave me to do that. I searched more information and conclude in another power point.

Wednesday 17th June, 2015

I had a problem. I didn't get any emails about summer student program but some summer students got them. So I would someone tomorrow to help me to solve this problem otherwise I wouldn't know about the programme. I still continued my work. After that Dr. Norraphat Srimanobhas, who is my supervisor, explained a little in the details of my project. In the evening, I exercised. This is the first time that I exercised by biking in France.

Thursday 18th June, 2015

I was going to tell the secretary of summer student program about the problem about getting emails from summer student program. She told that there is a technical problem about trainees' part of non-member state summer student programme and then she solved it. In the evening, Dr. Norraphat, Peerut and I went to the center of Geneva by the tram. They bought some chocolates here and then we bought the kebabs. After that we walked to Geneva Lake and ate the kebabs there. They were very delicious.

Friday 19th June, 2015

My supervisor explained to me about some detail of the paper that I still don't understand so I knew more a little. In the afternoon, I got a new working room. It is the room for CMS's summer student and it is near the room of ATLAS's summer student. In the evening, my supervisor let me learn about the detector simulation program which is "DELPHES - 3.2.0"

Saturday 20th June, 2015

My supervisor went back to Thailand today for DPST's activity. So he gave me to do something before he left. I had read on the laptop about FCC-DELPHES (Detector simulation for Future Circular Collider which is an integral conceptual design study for post-LHC particle accelerator options in a global context).

Sunday 21st June, 2015

Today is my holiday. I had to wash my cloths and went to Carrefour to get some meat, chicken, vegetables, milk and eggs for making meal next week. In the evening I went running. After that I reviewed the papers that I had learnt.

Monday 22nd June, 2015

I had read more about other papers that are related with main paper which I read before and I had practiced using the fast simulation program which is DELPHES in the topic of "Quick Tour" and learned how to running this program without parameters. I had learnt very slowly because it was new for me so that I had learnt new things more.

Tuesday 23rd June, 2015

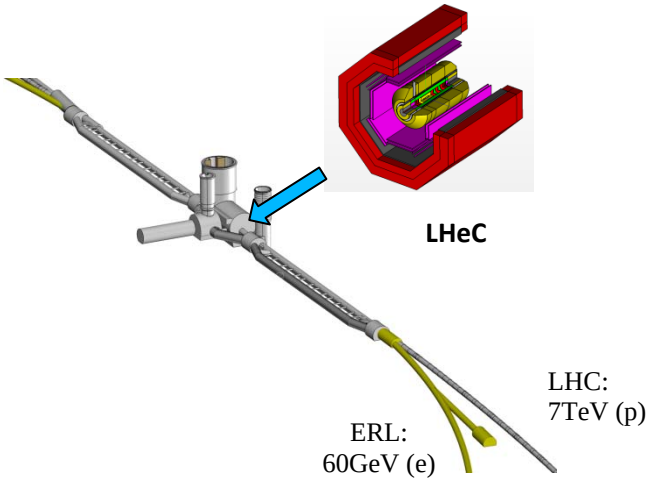
I continued reading the related papers with my main paper and I was still confused some detail. I didn't have much time to read the papers because in the afternoon today, I had to visit some places in CERN. I had visited to the synchrocyclotron which is CERN's first accelerator and ATLAS which is a particle physics experiment at the Large Hadron Collider at CERN. They were very exciting. Especially the video which was shown at synchrocyclotron, it was really very beautiful scenery.

********** ATLAS **********

******* Synchrocyclotron *******

Wednesday 24th June, 2015

Today I and Peerut had registered to attend the special lecture which is about LHeC. It will be a detector for electron-proton physics at LHC in the future. In the afternoon we joined it.



Thursday 25th June, 2015

I had visited to the Data Centre which is the heart of CERN's entire scientific, administrative, and computing infrastructure and to the Antiproton Decelerator (AD) which provides low-energy antiprotons mainly for studies of antimatter

********* Data Centre *********

***** Antiproton Decelerator *****

Friday 26th June, 2015

Today my supervisor comes back from Thailand. He asked about the details in the paper and then he gave me event source code which is Z-boson decaying to two electrons so that I continued the exercise.

Saturday 27th June, 2015

I went hiking with the other summer students and I reached on the top of the Jura Mountains in 2 hours and 30 minutes. Jura is in France. We went this hiking by Y-bus so that this bus was full because of too many the summer students. So I got some very beautiful pictures from there. When I came back from hiking, I felt headache and had a few temperature.

Sunday 28th June, 2015

Because of hiking yesterday, today I was much tried and I had to sleep whole day. So I did nothing today.

Monday 29th June, 2015

I could finish one DELPHES exercise in the event of Z-Boson decaying to two electrons. In the afternoon, I had joined workshop about ROOT which is a tool kit for data analysis, storage and visualization. I had learnt all the basic concepts and tools ROOT. It's just a basic knowledge only so in my work I will have to learn more.

*******ROOT Workshop*******

Tuesday 30th June, 2015

Today is the first day of the summer student lecture. First topic is the introduction which is about summer student programme, summer student labs and others and followed by the topic of particle world. After that I had practiced one of the samples about writing program code.

Wednesday 1st July, 2015

Lecture's topics today are presentation, particle world, and theoretical concepts in particle physics. I preferred the topic of particle world. In the afternoon, Surapat who is one of the students under the supervision of Dr. Norraphat came from Thailand to Geneva. I brought him to CERN and helped him to do the registration at CERN. After that I helped him find his hostel in Geneva. In the evening, we had travelled around Geneva Lake.

Thursday 2nd July, 2015

Today we had learnt about theoretical concepts in particle physics, introduction to accelerator physics, and phenomenology of the standard model. They are very interesting especially the topic about accelerator physics at CERN. After lunch, I tried to write the code in the same example and solve some problems in my exercise.

Friday 3rd July, 2015

We had learnt more in the same topics yesterday that are theoretical concepts in particle physics, introduction to accelerator physics, and phenomenology of the standard model. I preferred the topic of theoretical concepts in particle physics very much because I had known new things that I didn't know before. In the working hours, our supervisor gave Surapat some programing work but I still practiced my exercise.

Saturday 4th July, 2015

Natthorn Khongchareon and Thaweewat Khuangthip who are the summer physics teachers arrived to Geneva and then I and Peerut brought them to CERN hotel. The CERN's hotel that they must stay is too expensive. After we sent them to

the hotel, we went to our office. I practiced more exercises. There are many problems while I was doing my exercises. These are very hard for me.

Sunday 5th July, 2015

I had read something about my work in the laptop but I couldn't do my work anymore because the internet at my hostel was very terrible.

Monday 6th July, 2015

We still learnt in the topics of theoretical concepts in particle physics, introduction to accelerator physics, and phenomenology of the standard model. After the lecture time, I had practiced a special problem in my work that is about overlapping of two electrons and then Dr. Norraphat explained more about my work a little. After that I continued my work. Some problems in my work could not be solved so that I consulted Surapat and then he gave me the solutions.

Tuesday 7th July, 2015

The same topic is theoretical concepts in particle physics and the new topics today are introduction to statistic, and introduction to accelerator physics. I preferred the topic of the introduction to accelerator physics because I had got more about accelerator at CERN. The weather in the afternoon was very hot today. I still did my practice about overlapping of two electrons. After that my supervisor gave me the homework about electron-electron masses. In the evening, I had attended the special lecture which is HEP. It stands for "High Energy Physics".

High Energy Physics lecture

Wednesday 8th July, 2015

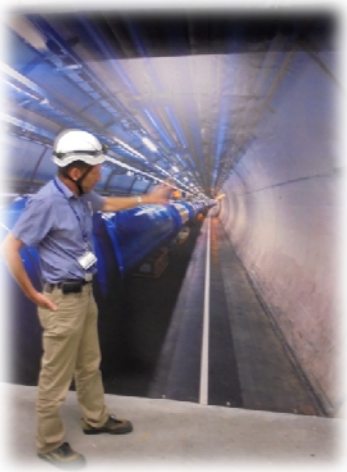
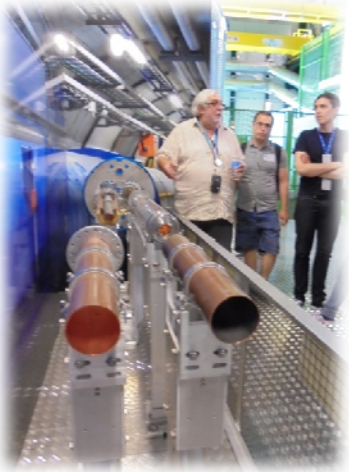
Nuclear physics at isolde, introduction to statistic, and introduction to accelerator physics are the interesting topics today. The weather cooled down today. I don't like the climate like this because I may be sick. In the afternoon I and other summer students who are working on CMS had a special conference in the topic of "CMS Induction Session for Newcomers". After that in the evening, there was the party for all summer students. There were many snacks and beverages. This was the special opportunity for me to talk and to introduce myself with others summer students.

****CMS Induction Session**** ***Summer Student's party***

Thursday 9th July, 2015

Lectures today are about introduction to statistic, nuclear physics at isolde, and detectors. In the afternoon, I and CMS summer students had to travel to Meryin for surface and underground visiting of CMS. There were free lunches there for every summer student. Unluckily we cannot visit the real CMS's accelerator in the underground because CERN is running the machine for the physics at 13 TeV. After

underground visiting, the speakers had talked about safety & access. I got two books from CMS which are “The CERN Large Hadron Collider: Accelerating and Experiments” volume 1 and 2. It will be my very exciting experience forever. When we came back to my office at CERN, my supervisor gave me a new programming exercise.

Friday 10th July, 2015

Lecturers talked about introduction to statistic, nuclear physics at isolde, and detectors. They are still the same topic like yesterday. After the lecture programme, I and the students from Thailand had a special lunch with Tutanon Sinthuprasith who is Thai person working on CMS at CERN. We had talked and shared the experience together. In the late afternoon, supervisor explained me a little about my work. After that I had talked with some summer students about planning to travel at Paris!

Saturday 11th July, 2015

Today is my holiday. I was very happy but I had to do my work a little. After that I went to Carrefour to get some food for making meals next days in this week.

Sunday 12th July, 2015

I wrote my report a little because on the working days, I didn't have much time to do anything else except attending my summer student programme and doing on my exercise and my work. Then I prepared some food for this week after that I washed my clothes. In the late afternoon, I felt sick a little so that I exercised by running this evening.

Monday 13th July, 2015

There are only two topics today which are electronics - DAQ & trigger, and detectors. In the afternoon, I did my exercise about running Delphes with various input files. After that in the evening, I and Surapat had met our supervisor and then he gave us writing codes about cuts flow and many details about these. Writing codes which are used in my work just started in the evening today!

Tuesday 14th July, 2015

The interesting topics today are flavour physics and CP violation, detectors, and electronics - DAQ & trigger. I preferred the topic of the flavour physics and CP violation very much because it is the physics that I studied when I was my university so I had got more in the lecture here. After lunch, I was confused about my work because I still didn't understand and didn't know how to start it. Thanks Surapat for helping me. He had explained me more a little so that I just knew how to start my work but this time was in the evening. I was very stressful to do the work with my own. After that I went to France festival with every summer students from Thailand and some the others. We saw culture of people there and watched many very beautiful fire flowers. We came back to the hostel almost midnight.

Wednesday 15th July, 2015

Lecturers had talked about flavour physics and CP violation, detectors, and neutrino physics. I understood a lot more about neutrino in the lecture of neutrino physics. In the afternoon, I continued learning my work and had to send to my supervisor in the evening. Our supervisor changed an appointment from today to tomorrow so that I had more time to do my work before sending to him.

Thursday 16th July, 2015

I had learnt about triggers for LHC physics, flavour physics and CP violation, and neutrino physics. The triggers for LHC physics is the new topic today which was interesting. After the lectures, I continued to do my work and finally I could finish the assignment today!

Friday 17th July, 2015

The topics of CERN Lectures today are neutrino physics, flavour physics and CP violation, and from raw data to physics results. I was very interested in the topic of “from raw data to physics results” because I had known about how we got the results in physics from the raw data from collision. In the afternoon, I and Surapat got a work about wring code to get the source and let it to compile and give the final results. This work is too many hard for me because I have never practiced it before. This is a part of the pure computing codes. Even though supervisor gave us a little example, I still didn’t understand because I have to get it with my own. Didn’t have anyone help me and teach me. It was just hell. In the late afternoon, Krittaphat’s friends from Thailand came to CERN today and they wanted to visit CERN so that we went to visit some places in CERN together.

Saturday 18th July, 2015

In the early morning, I left the hostel to go to Paris. I went by the train which could run with a top speed at 297 km/hr. It was really very fast. In this trip, I was travelling with Peerut, Surapat, two foreign students and two teachers from Thailand. Today we had visited a museum and then we went to the Eiffel tower in the evening. So we took many beautiful pictures there. The weather here was very cool.

Sunday 19th July, 2015

Today we went to the Louvre museum in the morning and then we went to the Champs Elysees and the Arc de Triomphe. In the evening, Peerut was going to CERN by a plane and the teachers were going by the train to CERN too. We went to the Louvre museum again in the evening to take some very beautiful pictures. This is my one best experience to visit the famous places in Paris.

Monday 20th July, 2015

We had visited a church and other places. After that we were shopping around Paris. We had walked too much to find souvenirs so we were too exhausted. In the late afternoon, we were going to Geneva by the train. This trip was a good time for me to practice English and learn about the culture there.

Tuesday 21st July, 2015

The summer student lectures today are beyond the standard model, SM physics at hadron colliders, and from raw data to physics results. I preferred the lecture of “beyond the standard model” because I had known more than I knew before. I felt very tired today because of the trip at Paris yesterday. In the afternoon I continued and attempted to do the same work which I worked on the Friday.

Wednesday 22nd July, 2015

I had learnt about beyond the standard model, SM physics at hadron colliders, and heavy ions. After lunch I did my work until 11 p.m. because I couldn’t go back to my hostel since the rain had fallen very heavy.

Thursday 23rd July, 2015

I like the lectures today which are heavy ions, beyond the standard model and especially introduction to cosmology. I preferred the lecture in the topic of the introduction to cosmology because it’s related directly in my project which I was doing at CERN. I was not feeling very well today because of raining yesterday but I had sill done my work until 10 p.m. and then I came back to my hostel.

Friday 24th July, 2015

Today they also explained in the details of beyond the standard model, heavy ions, and introduction to cosmology. The lecture of the introduction to cosmology today was very exciting because the lecturer had talked only about dark matter. After all lectures, I had done my work and then Dr. Norraphat talked with me

and Surapat about our projects but he only gave me the special suggestions about social participation and practice English. This is a very stressful situation.

Saturday 25th July, 2015

In the morning I went to Carrefour for getting the rice because rice was bought and out of the store fast after the summer student program opened. In the afternoon I went to Longchamp shop in Geneva to get the bags for my older sister. I found that I could pay in EUR or CHF such as 100 EUR or 100 CHF so that I chose to pay in CHF because it's saver. That time, 1 EUR was equal to about 38 THB and 1 CHF was equal to about 36 THB. I couldn't get tax refund because I bought less than 300 CHF.

I exercised in the evening. After that I jointed to vote the summer student T-shirt in the internet and the T-shirt in this picture got the most popular vote.

*******The summer student T-shirt (2015)*******

Sunday 26th July, 2015

The two teachers from Thailand had to go back because their programme have just 3 weeks nevertheless I just only have 2 weeks to leave here. I reviewed my work a little. In the afternoon after I washed my cloths, I attempted to do my work but the internet at Saint Genis hostel was very bad so that I could use the internet to do my work anymore.

Monday 27th July, 2015

Today I came to main auditorium very early to hurry doing my work. After that I could finish compiling some of the codes. The topics of the lectures today are introduction to Monte-Carlo techniques, search for BSM physics at hadron colliders, and introduction to cosmology. I understood a lot of things from the lectures. After lunch, I had done the work until night beginning so I went to my hostel.

Tuesday 28th July, 2015

These are the topics today which are introduction to Monte-Carlo techniques, search for BSM physics at hadron colliders, and medical physics - radiobiology of particle beams. I understood about how can apply the radiobiology of particle beams to medical physics in the real life and its benefits. After lunch I had done my work. Good luck for me! I could accomplish my work and I got the same of some results when compared with Suparat's results.

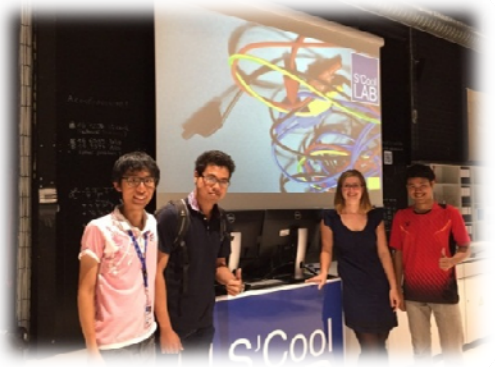
Wednesday 29th July, 2015

I prefer all the lectures today which are future collider technologies, search for BSM physics at hadron colliders, and physics at future colliders. After lunch I continued my work. I was so much stressed on work. So in the evening I consulted with Dr. Maneenate who I can usually ask she for helps. After that I felt relaxed a little.

Thursday 30th July, 2015

The lectures today are about future collider technologies, physics at future colliders, and medical physics - particle accelerators in cancer therapy. I preferred the lecture of "medical physics" very much because I had known how to apply physics of particle accelerators in cancer therapy. In the afternoon, we had the group picture after lunch with Thai people at CERN. After that I, Peerut and Surapat had attended a workshop today which is about cloud chamber. There are many modern types of equipment here. We were very excited because the S'Cool LAB's tools were very interesting. After the workshop, I had joined the special talk which topic is "The Rosetta Mission - Where no Spacecraft has gone before". This talk provided an

overview on the Scientific Highlights of the Rosetta Mission. After travelling through the Solar System for nearly 10 years Rosetta arrived at its main target, Comet 67/P Churyumov-Gerasimenko, in August 2014.



Friday 31th July, 2015

The lectures' topics are "what is String Theory", physics at future colliders, and medical physics - particle accelerators in cancer therapy. I preferred the topic of "String Theory" very much because I had got more about modern physics theory. There was the special lecture in the topic of "what is String Theory" again in the afternoon but I couldn't attend it because I had to join the visiting programme of CERN summer student. So I had visited two places, CERN Data Centre (CCC) and SM18 which is for testing magnets and instrumentation at very low temperature.

Saturday 1st August, 2015

I washed all my cloths and then I wrote the abstract of my project because I have to write the report about my project for uploading to CERN website before I leave here or my programme ends. So I have to write this report and then send to my supervisor for checking. This report has 5 pages only but I have to write carefully.

In the evening, I went to Geneva Lake because 1st August is the Swiss national day. I saw the shows there, especially the beautiful fire flowers.

Sunday 2nd August, 2015

In the morning, I saw this message in the summer student group in Facebook "BIKE STOLEN!!!! Hello everybody. I have sad news: Last night someone has stolen my bike (no. 590) and probably wrecked some other bikes in front of building A in Saint-Genis hostel. The owners of bike no. 726 and 938 should check the status of their bikes since 726 had the front wheel missing, 938 had broken front side (possibly attempted to take off front wheel). Also there is one front wheel still attached to the bike holder, so probably the thieves took away the frame and afterwards put the stolen front wheel and frame together. Please, check your bikes!" I was very shocked because the number of my bike is 938!! So I hurried to check my bike. After that I fixed the front wheel with the bike's body and then I took it from my hostel to CERN so I had to walk back from CERN to my hostel.

Monday 3rd August, 2015

This is the last week of summer student lectures. The summer student lectures today are simulation of particle interaction in detector, upgrade of LHC injectors, and superconductivity and SC magnets for the LHC upgrade. After the

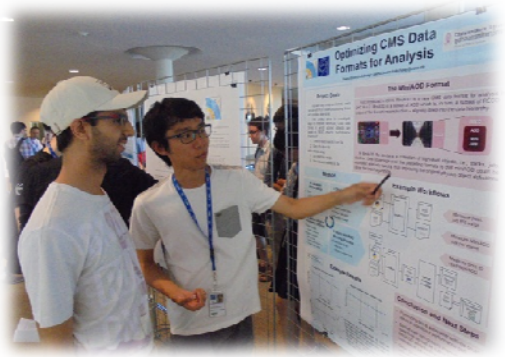
lecture, I returned the bike to CERN and got the money back which is 100 CHF. It is around 3600 bath. Hopefully the thief couldn't steel my bike otherwise I would lose the money from the deposit. My work today was retarded because I understood something wrong since I used the analysis database files from Surapat. Actually I should work on the run data at 100 TeV but this data is still not finish so that I have to choose the run data at 33 TeV instead of 100 TeV. Unfortunately the webpage of loading of 33 TeV was crash. I have had many hurdles.

Tuesday 4th August, 2015

I paid the entire hostel's rent. Fortunately I got a discount of 9.4 EUR because "I paid consistently and regularly", receptionist said. However I was still confused that Krittaphat had paid entire hostel's rent before me since last month but why he didn't get any discount. After that in the lectures, I had learnt about superconductivity and SC magnets for the LHC upgrade, astroparticle physics, and antimatter in the lab. I preferred the topic of "astroparticle physics" because I love this subject. In the afternoon after the lectures, I wrote the main code and the code of plotting a graph for my CERN's project.

Wednesday 5th August, 2015

These are the topics today which are collimation systems, astroparticle physics, and antimatter in the lab. After the lectures, I continued my work. I could finish writing the code of plotting various types of the graphs so I was very happy. At 17:00 to 18:30 in front of the main auditorium, there is the summer student poster session. I was looking the entire posters which are only 20 topics and after that I had to go back to my hostel to finish my project.



Thursday 6th August, 2015

We also learnt in the topics of collimation systems, astroparticle physics, and antimatter in the lab. In the late afternoon, I could finish writing my report which I had to send to CERN and then I sent it to my supervisor to check it again. After he checked it, I corrected something in my report. I just noted that the numbers of events passing each selection cut which I wrote in the Microsoft Excel came from different integrated luminosity. In fact, they should be normalized with some different factors to the same integrated luminosity which is 10 fb^{-1} before adding them together but I didn't have much time to correct all of them so I just gave the comment in my report.

Friday 7th August, 2015

Today is the last day of summer student lecture which is only the topic of closing lecture. Lecturer just said one hour only. In the afternoon after my supervisor checked my report, I sent it to CERN Document Server (CDS). In my report's result, there are some mistakes about my work but I didn't have much time to collect the work because I had to send it before the dead line which is before I leave CERN. In the late afternoon, I had to go to 11 places of the services to get the signature to show that I can leave CERN. I had only 1 hour to do this thing. I felt very tired.

********** Closing lecture **********

Saturday 8th August, 2015

I took my entire things in the luggage and I had to leave the hostel before 11 a.m. after that I took the Y bus to the Geneva airport with Krittaphat. A few minutes later after we reached the airport, Peerut had sent me and Krittaphat before we departed here. I would go to Thailand but Krittaphat would go to America for one week. This is my first time going aboard alone. I departed from Geneva at 15:15 and arrived to Dubai at 23:35.

Sunday 9th August, 2015

I departed from Dubai at 03:00 and arrived to Bangkok at 13:00. CERN's summer student programme 2015 will be in my memories forever. End!!

********** CERN's summer students from Thailand **********