



ด้วยสำนึกในพระมหากรุณาธิคุณในสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี  
ที่ได้พระราชทานโอกาสแก่เยาวชนไทยเพื่อเข้าร่วมกิจกรรมนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซี  
ประจำปี 2560

นายรชาลิส มหารักษ์ิต  
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

โดยการสนับสนุนของ  
สถาบันวิจัยเดซี (Deutsches Elektronen-Synchrotron, DESY)  
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ  
และสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน)

## คำนำ

โครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซีเป็นโครงการในพระราชดำริของสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ที่ทรงกรุณาโปรดเกล้าฯให้สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) ได้ดำเนินการคัดเลือกนักศึกษาภาคฤดูร้อนเพื่อให้ได้มีโอกาสไปเข้าร่วมเรียนรู้และวิจัยในหัวข้อที่สนใจ ณ สถาบันเดซี สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี เป็นระยะเวลาประมาณ 2 เดือน โดยในปี 2560 นี้ข้าพเจ้าได้ถูกรับคัดเลือกให้เป็นหนึ่งในตัวแทนประเทศไทย

ข้าพเจ้าได้เข้าร่วมฝึกวิจัย ณ สถาบันเดซี เมืองฮัมบูร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ในกลุ่มวิจัย CMS (Compact Muon Solenoid) ซึ่งเป็นกลุ่มวิจัยที่ทำงานร่วมกับสถาบันวิจัย CERN โดยใช้ข้อมูลปริมาณมหาศาลที่ได้จากหัววัด CMS มาวิเคราะห์หาข้อมูลที่เกิดขึ้นนั้นควรเกิดมาจากแนวความคิดทางทฤษฎีแบบใด โดยข้าพเจ้ามีโอกาสได้ศึกษาพารามิเตอร์ตัวหนึ่งซึ่งเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญในปรากฏการณ์ multiparton interaction (MPI)

โดยรายงานเล่มนี้จะประกอบด้วย ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับสถาบันวิจัยเดซี รายละเอียดของกิจกรรมภายในโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซี รายละเอียดงานวิจัยระยะสั้นของข้าพเจ้า ประโยชน์ที่ได้จากการเข้าร่วมโครงการ คำแนะนำสำหรับเยาวชนรุ่นถัดไป และบันทึกประจำวันระหว่างเข้าร่วมกิจกรรมของข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าหวังว่าประสบการณ์ของข้าพเจ้าที่ได้นำเสนอผ่านรายงานเล่มนี้จะสามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์แก่ผู้คนที่สนใจไม่มากนักน้อย และเหนือสิ่งอื่นใดข้าพเจ้าหวังว่าเยาวชนที่มีความสนใจทางด้านฟิสิกส์อนุภาคจะเกิดแรงบันดาลใจจากการอ่านรายงานเล่มนี้ และหากมีข้อผิดพลาดประการใดซึ่งข้าพเจ้าไม่ได้มีความตั้งใจให้เกิดขึ้นแม้แต่น้อย ข้าพเจ้าขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นายชวลิต มหารักษ์ิต

ผู้แทนประเทศไทยโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซี ประจำปี 2560

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในพระมหากรุณาธิคุณของสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี อย่างหาที่สุดมิได้ ที่ทรงพระราชทานโอกาสให้ข้าพเจ้าและผู้แทนประเทศไทยคนอื่นๆ ได้เข้าร่วมในโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อน เดซี ณ สถาบันเดซี สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ประจำปี 2560

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้คัดเลือกและมอบโอกาสให้ข้าพเจ้าได้มีส่วนร่วมในการเข้าร่วมกิจกรรมดังกล่าวในครั้งนี้ และขอขอบคุณคณะเจ้าหน้าที่สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แห่งชาติ (สวทช.) ที่คอยประสานงานและดูแลข้าพเจ้าในทุกเรื่องเป็นอย่างดีและเต็มไปด้วยความอบอุ่นไม่ว่าจะเป็นช่วงเตรียมตัวก่อนเข้าร่วมกิจกรรม ช่วงเข้าร่วมกิจกรรม และแม้แต่หลังจากกิจกรรมแล้วก็ยังดูแลข้าพเจ้าได้อย่างไม่มีข้อบกพร่อง

ขอขอบคุณ Hannes Jung และ Paolo Gunellini นักวิจัยผู้ดูแลข้าพเจ้าตลอดโครงการด้วยมิตรไมตรี คอยให้ความรู้และสอนข้าพเจ้าในหลายๆ เรื่อง การได้มีโอกาสได้ร่วมงานกับกลุ่มวิจัยของพวกท่านได้เปิดโลกทัศน์แก่ข้าพเจ้าเป็นอย่างมาก ทำให้ข้าพเจ้าได้เข้าใจวิธีการทำงานวิจัยระดับแนวหน้าและทันสมัย และเป็นแบบอย่างที่ดีในการเป็นนักวิจัยให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ Mr. Stefan Krohn ท่านกงสุลกิตติมศักดิ์ประจำสถานทูตไทย ณ เมือง ฮัมบูร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ที่ให้การสนับสนุนทุนในการเข้าร่วมโครงการดังกล่าวสำหรับนักศึกษาไทย และขอบคุณที่ให้โอกาสแก่ข้าพเจ้าและนักเรียนไทยคนอื่นๆ ได้เข้าพบและให้การต้อนรับเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณนางสาวขจีวรรณ บัวกอ (โบนัท) นักศึกษาที่ได้เป็นตัวแทนประเทศไทยไปเข้าร่วมโครงการ ณ เมือง ฮัมบูร์ก กับข้าพเจ้าที่เป็นเพื่อนคุยและเพื่อนเที่ยวและเป็นแม่ครัวให้กับข้าพเจ้าในบางครั้ง นอกจากนี้ยังขอขอบคุณเพื่อนต่างชาติที่ข้าพเจ้าได้พบเจอทุกคนที่ทำให้กิจกรรมในครั้งนี้มีสีสันขึ้นอย่างมากและต้องขอขอบคุณผู้ดูแลโครงการทุกคนที่ทำให้กิจกรรมในครั้งนี้ราบรื่นเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ทำให้ข้าพเจ้ามีความพร้อมทั้งทักษะทางวิชาการ และทักษะการใช้ชีวิตอย่างเพียงพอในการเข้าร่วมกิจกรรมในครั้งนี้

และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวของข้าพเจ้า ที่เป็นผู้สนับสนุนในทุกเรื่อง และเหนือสิ่งอื่นใดคือการสนับสนุนในการศึกษาวิชาชีพสีกส์ของข้าพเจ้า ทำให้ข้าพเจ้าได้ทำในสิ่งที่ชื่นชอบ

นายรชาลิส มหารักษ์ชิต

ผู้แทนประเทศไทยโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซี ประจำปี 2560

## สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับสถาบันเดซี	5
บทที่ 2 โครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซีปี 2560	7
บทที่ 3 งานวิจัยระหว่างเข้าร่วมโครงการ	9
บทที่ 4 ข้อคิด ประโยชน์ที่ได้รับ และข้อเสนอแนะ	11
บทที่ 5 บันทึกประจำวันระหว่างเข้าร่วมกิจกรรม ภาคผนวก	13 31

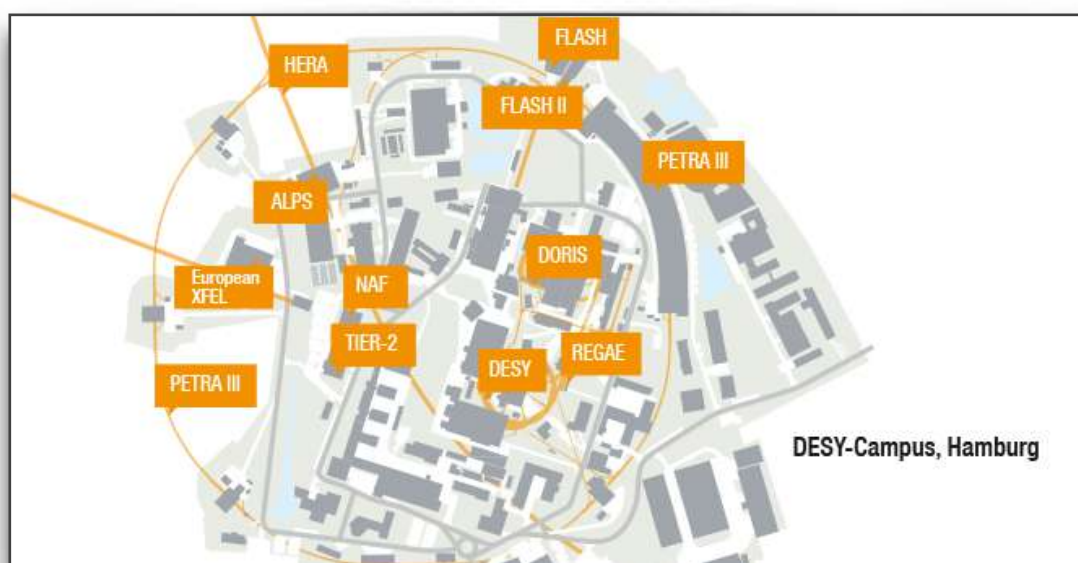
## บทที่ 1 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับสถาบันเดซี

สถาบันเดซี (DESY) ย่อมาจาก Deutsches Elektronen-Synchrotron (หรือ German Electron Synchron ในภาษาอังกฤษ) เป็นสถาบันวิจัยแห่งชาติของสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ซึ่งใช้เครื่องเร่งอนุภาคในการทดลองเพื่อการค้นคว้าวิจัยใน 3 ด้านหลักได้แก่ 1.) ด้านฟิสิกส์อนุภาคและฟิสิกส์พลังงานสูง 2.) ด้านการใช้แสงซินโครตรอน และ 3.) การพัฒนาเกี่ยวกับอุปกรณ์เครื่องเร่งอนุภาค ปัจจุบันสถาบันเดซีมีสำนักงานประจำสองที่คือที่เมืองฮัมบูร์ก และเมืองชอยเรน

ที่เมืองฮัมบูร์กได้มีการใช้งานเครื่องเร่งอนุภาคมาแล้วมากมาย ซึ่งตำแหน่งของเครื่องเร่งชนิดต่างๆสามารถดูได้จากภาพที่ 1 โดยมีเครื่องเร่งอนุภาคเรียงลำดับจากปีที่เริ่มใช้งานทั้งหมดดังนี้

1. DESY เป็นเครื่องเร่งอนุภาคเครื่องแรกของสถาบันเดซี เริ่มใช้งานเมื่อปี ค.ศ. 1964 ซึ่งในสมัยนั้นถือว่าเป็นเครื่องเร่งที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในโลกและสามารถที่จะเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนให้มีพลังงานได้ถึง 7.4 GeV มุ่งเน้นวิจัยเกี่ยวกับด้าน quantum electrodynamics และต่อมาก็ได้มีการปรับปรุงไปสู่ขั้นที่สองในชื่อ DESY II ในปี 1987 และขั้นที่สามในชื่อ DESY III ในปี 1988 เพื่อใช้เป็นบริเวณเร่งอนุภาคในขั้นแรกเพื่อส่งไปยังเครื่องเร่งอนุภาค HERA ต่อไป

2. DORIS (Doppel-Ring-Speicher) หรือในชื่อภาษาอังกฤษว่า Double-Ring Storage สร้างเสร็จเมื่อปี 1974 โดยเป็นเครื่องเร่งอนุภาคชนิดวงกลมเครื่องที่สองของสถาบันเดซีและสามารถเร่งลำอิเล็กตรอนให้มีพลังงานได้สูงถึง 5 GeV ในปี ค.ศ. 1978 มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาปรากฏการณ์การชนกันระหว่างอนุภาคอิเล็กตรอนกับอนุภาคโพซิตรอน



ภาพที่ 1 ตำแหน่งของเครื่องเร่งชนิดต่างๆ ที่สถาบันเดซี ณ เมือง ฮัมบูร์ก

ภาพจาก [http://www.desy.de/research/facilities\\_projects/index\\_eng.html](http://www.desy.de/research/facilities_projects/index_eng.html) เมื่อวันที่ 23 ตุลาคม 2560

3. PETRA (Positron-Elektron-Tandem-Ring-Anlage) หรือในชื่อภาษาอังกฤษว่า Positron-Electron Tandem-Ring Facility สร้างเสร็จเมื่อปี ค.ศ. 1978 สามารถเร่งอนุภาคจนพลังงานสูงได้ถึง 19 GeV โดยการค้นพบที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งจากเครื่องเร่งนี้ก็คืออนุภาคกลูออน และต่อมาในปี 1990 เครื่องเร่งนี้ถูกใช้เป็นส่วนหนึ่งของเครื่องเร่งอนุภาคในขั้นแรกเพื่อนำไปใช้ในเครื่องเร่งอนุภาค HERA โดยเปลี่ยนไปใช้ชื่อเป็น PETRA II และนอกจากนี้ยังใช้เป็นแหล่งผลิตแสงซินโครตรอนพลังงานสูงอีกด้วย ต่อมาในปี ค.ศ. 2007 ได้มีการปรับปรุงอีกครั้งและใช้ชื่อเป็น PETRA III ซึ่งครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อวิจัยแสงซินโครตรอนโดยเฉพาะ

4. HERA (Hadron-Elektron-Ring-Anlage) หรือในชื่อภาษาอังกฤษว่า Hadron Electron Ring Facility เริ่มใช้งานเมื่อปี ค.ศ. 1992 ซึ่งเป็นเครื่องเร่งอนุภาคที่ใหญ่ที่สุดที่เคยมีมาของสถาบันเดซี โดยมุ่งเน้นวิจัยเรื่องโครงสร้างของอนุภาคโปรตอน และคุณสมบัติของควาร์กต่างๆ ปัจจุบันได้ถูกปิดใช้งานไปแล้ว

5. FLASH (Free-electron -LASer in Hamburg) เริ่มใช้งานเมื่อปี ค.ศ. 2004 เป็นเครื่องเร่งอนุภาคแบบเส้นตรง สร้างขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์จากแสงซินโครตรอนความเข้มสูง

6. European XFEL (The European x-ray free electron laser) เริ่มใช้งานเมื่อเดือนกันยายน ปี ค.ศ. 2017 ที่ผ่านมา เป็นความร่วมมือระหว่างกลุ่มประเทศในยุโรปกับสถาบันเดซี โดยมีการใช้เครื่องเร่งแบบเส้นตรงเพื่อเร่งอิเล็กตรอนไปใช้ในการผลิตลำแสงเลเซอร์ในย่านเอ็กซ์เรย์ที่เข้มที่สุดในโลก

## บทที่ 2 โครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซี ประจำปี 2560

โครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซีเป็นโครงการที่จัดขึ้นโดยสถาบันเดซีในช่วงฤดูร้อนของทุกปีโดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ให้นักศึกษาระดับปริญญาตรีปีที่ 3-4 ไปจนถึงนักศึกษาระดับปริญญาโทปี 1 ได้มีโอกาสเข้าไปฝึกการทำงานวิจัยในหัวข้อที่สนใจกับนักวิจัยชั้นนำ ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มวิจัยได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ดังนี้

### กลุ่ม A งานวิจัยเกี่ยวกับแสงซินโครตรอน (มีเฉพาะที่เมืองฮัมบูร์ก)

เป็นกลุ่มวิจัยที่มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้งานแสงซินโครตรอนเพื่อใช้ในการวิจัยพื้นฐานและงานประยุกต์ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นในสาขาวิชาฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา วัสดุศาสตร์ และธรณีวิทยา โดยกิจกรรมที่นักศึกษาจะมีโอกาสได้ทำในกลุ่มวิจัยนี้ได้แก่ การได้ลองเตรียมการทดลอง รวมทั้งการวัด การบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองของจริง และยังมีการพัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้อีกด้วย

### กลุ่ม B งานวิจัยเกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาคและฟิสิกส์ดาราศาสตร์อนุภาค เครื่องเร่งอนุภาคและการคำนวณ

เป็นกลุ่มวิจัยที่มุ่งเน้นเกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาคและเครื่องเร่งอนุภาค โดยนักศึกษามีโอกาสได้เข้าร่วมฝึกวิจัยกับกลุ่มวิจัยชั้นนำของโลกในด้านฟิสิกส์มูลฐานได้แก่ ATLAS, CMS, ILC, BELLE II, ALPS II เพื่อได้ลองฝึกวิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่องเร่งอนุภาค จำลองข้อมูล พัฒนาเครื่องเร่งอนุภาค หรือแม้แต่ทำงานทางด้านทฤษฎี ในส่วนของฟิสิกส์ดาราศาสตร์อนุภาคนั้น นักศึกษาก็จะมีโอกาสได้ฝึกวิจัยกับกลุ่ม CTA และ IceCube

และนอกจากกิจกรรมส่วนใหญ่ที่ได้ฝึกทำวิจัยกับนักวิจัยชั้นนำแล้ว ในโครงการนี้ยังมีกิจกรรมเลคเชอร์ที่สัมพันธ์กับกลุ่มวิจัยให้นักศึกษาได้เข้าฟังตลอดโครงการ โดยสำหรับกลุ่ม B จะมีรายวิชาต่างๆดังตารางต่อไปนี้

วิชา	ผู้บรรยาย
Particle Physics Introduction	A. Geiser
Photon Science Introduction	L. Glaser
Accelerator Physics	P. Castro-Garcia
HEP Detectors	I.-M. Gregor
HEP Theory	Ch. Grojean
QCD Theory	M. Diehl
Dark Matter	A. Lindner
Alps II	A. Lindner

วิชา	ผู้บรรยาย
String Theory	V. Schomerus
Electroweak and Higgs	A. Rospereza
Beyond the Standard Model	F. Bruemmer
Flavour Physics	G. Inguglia
ILC, CLIC and other future accelerators	K. Buesser
Plasma wake field acceleration	J. Osterhoff
Top Physics	J. Katzy
Astroparticle Physics	G. Maier
Cosmology	A. Westphal

และยังมีกิจกรรมต่างๆมากมายแทรกอยู่ในโครงการนี้ไม่ว่าจะเป็น กิจกรรมงานเลี้ยงต้อนรับ หรือ BBQ night กิจกรรมทัศนศึกษาบริเวณโดยรอบสถาบันเดซีซึ่งจะเป็นการพาชมเครื่องเร่งอนุภาค HERA ที่เลิกใช้งานไปแล้ว รวมทั้งพาชมบริเวณทำการวิจัยของกลุ่ม Photon science ที่อยู่ใน PETRA III และ European XFEL กิจกรรมแนะแนวการศึกษาและการทำวิจัยในสถาบันเดซี และยังมีกิจกรรมล่องเรือชมวิวทิวทัศน์รอบเมืองฮัมบูร์กอีกด้วย และนอกจากนี้อาจมีกิจกรรมเพิ่มเติมจากกลุ่มวิจัยของแต่ละคน เช่นสำหรับข้าพเจ้า อาจารย์ที่ปรึกษา ก็จะมีการนัดกินเลี้ยงต้อนรับและอำลาเหล่านักศึกษาฤดูร้อนที่ได้เข้ามาฝึกงานด้วย



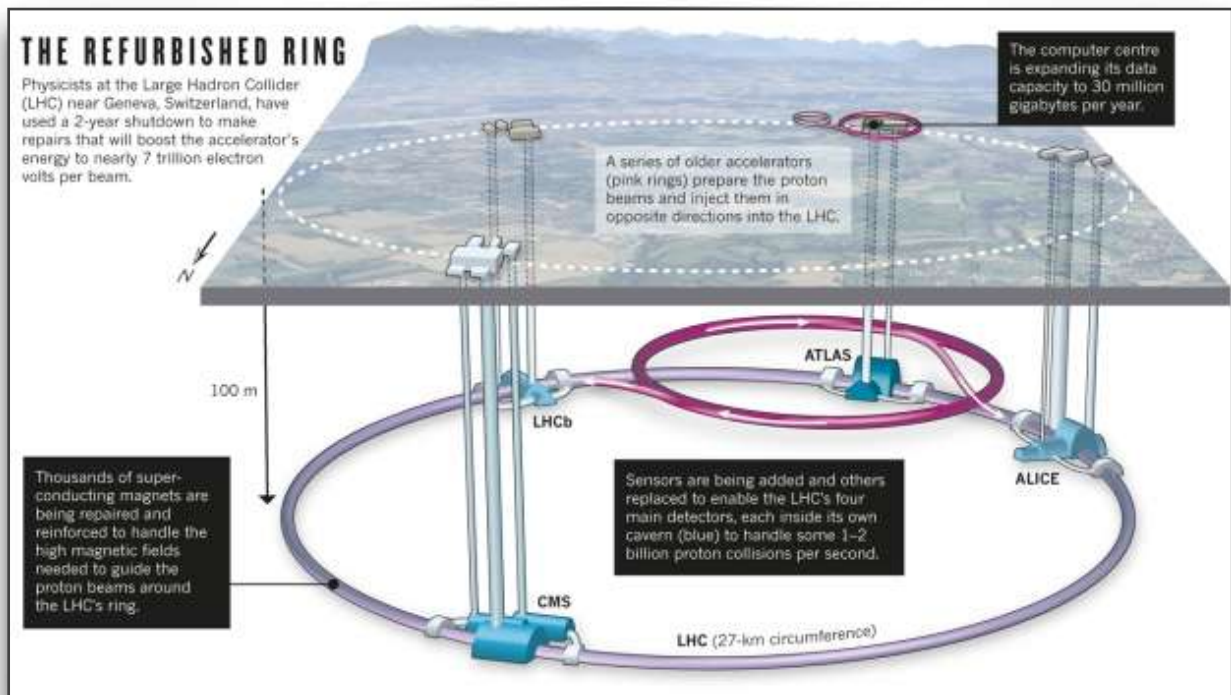
## บทที่ 3 งานวิจัยระหว่างเข้าร่วมโครงการ

ในบทนี้ข้าพเจ้าจะนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับกลุ่มวิจัย CMS ซึ่งเป็นกลุ่มที่ข้าพเจ้าได้มีโอกาสไปร่วมฝึกงานด้วย โดยข้าพเจ้าจะอธิบายข้อมูลโดยสังเขป จากนั้นข้าพเจ้าจะอธิบายถึงงานวิจัยที่ข้าพเจ้าได้ทำระหว่างอยู่ในโครงการ

### 3.1 กลุ่มวิจัย CMS

คำว่า CMS ย่อมาจาก Compact Muon Solenoid ซึ่งเป็นหัววัดเครื่องหนึ่งที่ตั้งอยู่ในเครื่องเร่งอนุภาค LHC ของสถาบันวิจัย CERN มีจุดประสงค์เพื่อให้นักฟิสิกส์ได้ใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับทฤษฎี standard model การตามหามิติที่สูงขึ้น (extra dimensions) อนุภาคของสสารมืด และอื่นๆ โดยศึกษาจากข้อมูลของการชนกันระหว่างกลุ่มของอนุภาคโปรตอนที่มีพลังงาน (ในกรอบของจุดศูนย์กลางมวล) สูงถึง 13 TeV โดยการค้นพบที่ยิ่งใหญ่ที่สุดครั้งหนึ่งของหัววัดนี้รวมทั้งหัววัด ATLAS ที่ติดตั้งอยู่ฝั่งตรงข้าม (ดูได้ในภาพที่ 2) ก็คือการค้นพบอนุภาค Higgs boson นั้นเอง

เนื่องจากสถาบันเดซีแต่เดิมนั้นเป็นสถาบันชั้นนำในการวิจัยและทดลองเกี่ยวกับเครื่องเร่งอนุภาคและการชนกันของอนุภาค แต่ในปัจจุบันนี้สถาบันได้เปลี่ยนไปศึกษาวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับแสงซินโครตรอนเป็นส่วนใหญ่ ประกอบกับเครื่องเร่งเพื่อศึกษาการชนกันของอนุภาคก็ได้ปิดการใช้งานไปหมดแล้ว จึงทำให้นักวิจัยทางด้านฟิสิกส์อนุภาคที่อยู่ในสถาบันเดซีนั้นต้องใช้ข้อมูลจากเครื่องเร่งอนุภาค LHC จากสถาบันวิจัย CERN แทน และเนื่องจากหัววัดชนิดต่างๆภายใน LHC นั้นมีการใช้งานและการวัดข้อมูลที่แตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์ของการสร้าง จึงทำให้สามารถแบ่งกลุ่มวิจัยต่างๆทางด้านฟิสิกส์อนุภาคที่อยู่ในสถาบันเดซีได้ตามชนิดของหัววัด จึงได้นำชื่อหัววัดมาเป็นชื่อกลุ่มวิจัย



ภาพที่ 2 เครื่องเร่งอนุภาค LHC และหัววัดชนิดต่างๆของสถาบันวิจัย CERN ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

ภาพจาก <https://www.nature.com/news/large-hadron-collider-the-big-reboot-1.16095> เมื่อวันที่ 23 ตุลาคม 2560

ห้วงวัด CMS และ ATLAS นั้นเป็นห้วงวัดที่มีขนาดใหญ่มาก จึงทำให้ข้อมูลที่เกิดขึ้นมาตลอดนั้นมีปริมาณที่มหาศาล การจะวิเคราะห์ข้อมูลเหล่านั้นจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาและจำนวนคนไม่น้อย โดยในปัจจุบัน การทดลองจากห้วงวัด CMS ได้กลายเป็นการทดลองที่มีเครือข่ายความร่วมมือทางวิทยาศาสตร์ที่ใหญ่ที่สุดในประวัติศาสตร์ ซึ่งประกอบไปด้วย นักฟิสิกส์อนุภาค วิศวกร นักเทคนิค นักเรียนและนักศึกษา และผู้สนับสนุนอื่นๆกว่า 4300 คน จาก 182 สถาบัน รวม 42 ประเทศ โดยคนเหล่านั้นจำนวนไม่น้อยที่ทำงานอยู่ในกลุ่ม CMS ในสถาบันเดซี โดยภายในกลุ่ม CMS ของสถาบันเดซีนี้มีการแบ่งกลุ่มย่อยลงไปตามความสนใจ ไม่ว่าจะเป็น การศึกษาเกี่ยวกับกลไกของ Higgs การศึกษาควาร์กและอนุภาคกลูออน การตามหาอนุภาคของสสารมืด และอีกมากมาย

ข้าพเจ้าได้เข้าร่วมฝึกวิจัยกับ Hannes Jung หัวหน้ากลุ่มวิจัยย่อยผู้เชี่ยวชาญด้านการจำลองเหตุการณ์โดยใช้วิธี Monte carlo เพื่อศึกษาปรากฏการณ์การชนกันระหว่างกลุ่มของอนุภาคโปรตรอนโดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลจากห้วงวัด CMS โดยใช้ทฤษฎี quantum chromodynamic โดยงานวิจัยของข้าพเจ้านั้นเกี่ยวข้องอยู่กับพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่ค่อนข้างสำคัญในการจะทำให้ผลการจำลองเหตุการณ์นั้นมีความคล้ายกับข้อมูลจากการทดลอง โดยข้าพเจ้ามีหน้าที่ตามหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของของโปรตรอนที่ถูกเร่งกับค่าของพารามิเตอร์ว่า มันสัมพันธ์กันอย่างไรโดยใช้ข้อมูลการทดลองเดิมที่มีอยู่แล้ว ถ้าความสัมพันธ์ที่หาได้มีความถูกต้องมากเท่าไรก็จะยิ่งทำให้การทำนายผลการทดลองแม่นยำมากขึ้นเท่านั้น ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้จัดทำเพื่อที่จะเอาไว้ใช้ทำนายข้อมูลล่วงหน้าจากเครื่อง LHCที่กำลังปรับปรุงใหม่ไปสู่พลังงาน 14 TeV ในปี ค.ศ. 2018

### 3.2 บทคัดย่อ

ปัญหาการลู่เข้าสู่อันต์ของ cross section ของการชนที่เกิดจาก hard process ในช่วงที่ค่า transverse momentum มีค่าเข้าใกล้ศูนย์นั้นเป็นปัญหาที่ทราบกันเป็นอย่างดี นั้นเป็นเพราะ cross section นั้นแปรผกผันอยู่กับกำลังสองของ transverse momentum โดยวิธีจัดการกับปัญหานี้ที่ใช้กันโดยทั่วไปคือการนำพารามิเตอร์ที่ชื่อ  $p_T^0$  มาบวกเข้าไปที่ตัวส่วนของความสัมพันธ์ดังกล่าว จากการสังเกตพบว่า  $p_T^0$  นั้นเป็นพารามิเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับพลังงานของอนุภาคโปรตรอนที่มาชนกัน โดยหลายคนเชื่อว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวนั้นเป็นแบบเลขยกกำลังที่สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ว่า  $p_T^0 = aE^b$  แต่มันก็ไม่ได้มีที่มาจาก first principle อีกทั้งประสิทธิภาพในการฟิตกับข้อมูลการทดลองก็ไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้มีการค้นหาลักษณะความสัมพันธ์แบบอื่นๆที่เป็นไปได้และมีประสิทธิภาพในการฟิตข้อมูลได้ดีกว่าแบบเดิม ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ปรากฏว่าความสัมพันธ์ที่มาจาก การตัดแปลงฟังก์ชันเอ็กซ์เลขยกกำลังเพียงเล็กน้อยนั้นสามารถให้ผลการฟิตข้อมูลที่ดีกว่าได้ และนอกจากนี้ฟังก์ชันอื่นๆที่พบว่ามีประสิทธิภาพในการฟิตดีกว่าส่วนใหญ่แล้วจะมีเทอมของฟังก์ชันเลขยกกำลังประกอบอยู่

\*รายละเอียดของงานวิจัยเพิ่มเติมอยู่ในภาคผนวก

## บทที่ 4 ข้อคิด ประโยชน์ที่ได้รับ และข้อเสนอแนะ

การที่ข้าพเจ้าได้ไปเข้าร่วมโครงการนี้จะไม่สามารถเป็นไปได้เลยหากไม่ได้รับพระมหากรุณาธิคุณของสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ที่ได้มอบโอกาสอันประเสริฐค่าไม่ได้ครั้งนี้แก่ข้าพเจ้า ด้วยระยะเวลา 8 สัปดาห์ในโครงการนี้ข้าพเจ้าได้เรียนรู้หลายสิ่ง ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

### 1. ได้เรียนรู้กระบวนการทำงานแบบนักวิทยาศาสตร์ขั้นแนวหน้าและองค์ความรู้ใหม่

ก่อนที่ข้าพเจ้าจะได้เข้าร่วมโครงการนี้ ข้าพเจ้าไม่เคยมีโอกาสดำเนินงานวิจัยเป็นกลุ่มใหญ่เลยสักครั้งจึงทำให้ข้าพเจ้าไม่เคยเข้าใจว่าการร่วมมือกันทำงานหรือการประสานงานกันระหว่างคนจำนวนมากนั้นต้องทำอะไร แต่หลังจากที่ข้าพเจ้าได้เข้าร่วมโครงการนักศึกษาฤดูร้อนเดซี ข้าพเจ้าเริ่มเข้าใจกระบวนการดังกล่าว ข้าพเจ้าเห็นการทำงานตามหน้าที่ของตนเองอย่างไม่ขาดตกบกพร่องของทุกคนซึ่งล้วนแล้วแต่ทำไปเพื่อจุดประสงค์เดียวกันคือไขปริศนาบางอย่างให้จงได้ นอกจากนี้ยังมีการประชุมในทุกสัปดาห์ การแลกเปลี่ยนและติดตามข่าวสารใหม่ๆอยู่เสมอ ดังนั้นการมีปฏิสัมพันธ์ที่ดีต่อคนรอบข้างเป็นเรื่องที่สำคัญเช่นกันในการทำงานลักษณะนี้ โดยคนภายนอกอาจจะมองว่าการทำงานแบบนี้ค่อนข้างเครียดแต่ที่จริงแล้วไม่ใช่เลย ข้าพเจ้าเห็นว่านักวิจัยนั้นสนุกกับงานที่ทำ นอกจากนี้ยังมีกิจกรรมคลายเครียดเช่น การเล่นกีฬาร่วมกัน การทานอาหารเย็นร่วมกัน เป็นต้น

เนื่องจากข้าพเจ้าไม่เคยได้เรียนรู้งานเกี่ยวกับด้านฟิสิกส์อนุภาคมาก่อน ดังนั้นการได้ลงทำวิจัยระยะสั้นนั้นทำให้ข้าพเจ้าได้องค์ความรู้ใหม่ๆมากมายและยังทำให้ข้าพเจ้าทราบด้วยว่างานวิจัยระดับแนวหน้าในปัจจุบันนั้นมันไปถึงตรงไหนแล้ว นอกจากนี้ยังได้ทราบขอบข่ายการทำงานของเพื่อนคนอื่นจึงทำให้ข้าพเจ้าพอมองภาพงานวิจัยในแขนงอื่นออกเช่นกันว่าเขาทำงานกันอย่างไร และที่สำคัญที่สุดคือการทำให้ข้าพเจ้ารู้จักตัวเองว่าชอบอะไรและไม่ชอบอะไรซึ่งจะทำให้ข้าพเจ้าเลือกเรียนปริญญาโทในสาขาที่สนใจได้อย่างไม่มีความลังเล

### 2. ได้สร้างเครือข่ายการวิจัยในอนาคตแก่ตัวข้าพเจ้า

ปฏิเสธไม่ได้เลยว่าการที่ข้าพเจ้าได้รู้จักกับนักวิจัยท่านต่างๆนั้นจะสามารถสร้างเครือข่ายการทำวิจัยให้กับข้าพเจ้าในอนาคตได้ไม่มากนักน้อย การได้พูดคุยแลกเปลี่ยนประสบการณ์ระหว่างข้าพเจ้าและผู้ทรงคุณวุฒิเหล่านั้นในระหว่างโครงการเป็นประสบการณ์ที่ประเสริฐค่าไม่ได้ ซึ่งแม้แต่ในปัจจุบัน ข้าพเจ้ายังมีการติดต่อสื่อสารอยู่กับอาจารย์ที่ปรึกษาของข้าพเจ้าเรื่องงานวิจัยอยู่เป็นระยะ และนอกจากนี้การได้รู้จักเพื่อนนักศึกษาฤดูร้อนก็อาจจะเป็นเครือข่ายการทำวิจัยในอนาคตของข้าพเจ้าก็เป็นได้ เพราะพวกเขาเหล่านั้นก็ล้วนสนใจในเรื่องคล้ายๆกัน นั่นแปลว่าในอนาคตพวกเราจะต้องได้ทำวิจัยในลักษณะเดียวกัน การได้รู้จักพวกเขาล่วงหน้าเช่นนี้ล้วนเป็นประโยชน์ต่อตัวข้าพเจ้าและเพื่อนนักวิจัยชาวไทยของข้าพเจ้าไม่ทางใดก็ทางหนึ่งอย่างแน่นอน

### 3. ได้รู้จักการปรับตัว

การมาอาศัยอยู่ต่างถิ่นเช่นนี้จะต้องมีการปรับตัว ไม่ว่าจะเป็นการทำให้ตัวเองคุ้นชินกับสภาพอากาศ ภาษา และวัฒนธรรมการใช้ชีวิต โดยเฉพาะการได้พบเจอเพื่อนหลากหลายเชื้อชาติในช่วงเวลาเดียวกันเช่นนี้เพราะต่างคนก็มีวัฒนธรรมการใช้ชีวิตที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งการเรียนรู้วัฒนธรรมของบุคคลเหล่านั้นเป็นความท้าทายอย่างหนึ่งของข้าพเจ้า และบ่อยครั้งที่ข้าพเจ้าได้เผชิญกับความท้าทายในระหว่างโครงการ ข้าพเจ้าได้เรียนรู้การปรับตัวจากการนำอาจารย์ที่ปรึกษาของข้าพเจ้ามาเป็นแบบอย่างในการทำงาน

### 4. ได้เห็นการใช้เทคโนโลยีให้เป็นประโยชน์และทันสมัย

ในระหว่างทำงาน การใช้เทคโนโลยีเพื่อติดต่อสื่อสารกันนั้นเป็นประโยชน์อย่างมาก ข้าพเจ้ามีโอกาสได้เห็นอาจารย์ที่ปรึกษาของข้าพเจ้าติดต่อสื่อสารกับเพื่อนวิจัยในกลุ่มที่อยู่ต่างเมืองกันโดยใช้ video call เป็นการประชุมที่มีนักวิจัยเข้าร่วมไม่น้อย แต่การสื่อสารทุกอย่างมีความไหลลื่นไม่มีสะดุดซึ่งระยะทางไม่มีผลอย่างแท้จริง นอกจากนี้ข้าพเจ้ายังได้เห็นการติดต่อสื่อสารกับสมาชิกทุกคนในกลุ่มวิจัยโดยการนัดหมายผ่านทาง e-mail ที่เป็นไปอย่างมีระบบ ส่วนในห้องประชุมหรือห้องเรียนก็มีการใช้อุปกรณ์อำนวยความสะดวกมากมายซึ่งเทคโนโลยีทุกอย่างในศูนย์วิจัยมีความทันสมัยที่ซึ่งไม่เป็นที่กวนใจนักวิจัยเลยแม้แต่น้อย

## บทที่ 5 บันทึกประจำวันระหว่างการเข้าร่วมกิจกรรม

วันอาทิตย์ที่ 16 กรกฎาคม 2560

วันนี้เป็นวันที่พวกเราจะออกเดินทางจากประเทศไทย โดยพวกเราได้แยกการเดินทางเป็น 2 กลุ่ม กล่าวคือ คนที่จะไปยังสถาบันวิจัยเดซี ณ เมืองชอยเรน (พีเล็กและน้องเจมส์) จะออกเดินทางตั้งแต่เช้าตรู่ เพื่อเดินทางไปยังสนามบินเบอร์ลิน ส่วนข้าพเจ้าและโบนัทที่จะเดินทางไปยังสถาบันวิจัยเดซี ณ เมืองฮัมบูร์ก จะขึ้นเครื่องในเวลา 19:05 น. เพื่อเดินทางไปยังสนามบินแฟรงเฟิร์ต โดยจะมีการแวะเปลี่ยนเครื่อง ที่เมืองฮานอยประเทศเวียดนามเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งก่อนที่ข้าพเจ้าจะออกเดินทางจากสนามบินสุวรรณภูมิ ก็ได้มีการถ่ายรูปและอำลาครอบครัวและเพื่อนๆ ที่ได้มาส่ง และถึงแม้ข้าพเจ้าจะไปเข้าร่วมโครงการเพียงแค่ 2 เดือน แต่ข้าพเจ้าก็คงจะคิดถึงบุคคลเหล่านี้เป็นอย่างมาก



ข้าพเจ้าและโบนัทมาถึงเมืองฮานอยในเวลา 21:05 น. เพื่อรอขึ้นเครื่องไปยังสนามบิน แฟรงเฟิร์ตในเวลา 23:25 น. ในระหว่างที่รอนั้นโบนัทหิวน้ำมาก โชคดีที่ข้าพเจ้ามีเงินสกุลเวียดนามมาติดตัวมาด้วยเพราะข้าพเจ้าเพิ่งได้ไปประเทศเวียดนามมาเมื่อ 3 เดือนที่แล้ว เลยได้ให้โบนัทนำไปซื้อเครื่องดื่มภายในสนามบิน เมื่อเราได้ขึ้นเครื่องอีกครั้ง ไม่นานก็มีอาหารมาบริการ ซึ่งถ้านับตั้งแต่ข้าพเจ้ารับประทานอาหารกับครอบครัวที่สนามบินสุวรรณภูมิด้วยแล้ว อาหารมื้อนี้จะเป็นมื้อที่ 3 ในรอบ 6 ชั่วโมงของข้าพเจ้า (1 ครั้งที่สนามบินสุวรรณภูมิ อีกครั้งบนเครื่องบินจากกรุงเทพฯสู่อานอย และสุดท้ายคือครั้งที่กล่าวถึง) ซึ่งทำให้โบนัทปฏิเสธที่จะรับประทานมื้อสุดท้ายนี้แต่ข้าพเจ้าก็ยังคงรับประทานอยู่ดี

วันจันทร์ที่ 17 กรกฎาคม 2560

ข้าพเจ้าและโบนัทเดินทางถึงสนามบินแฟรงเฟิร์ตประมาณ 06:00 น. อากาศก็ค่อนข้างเย็น สิ่งแรกที่เราทำคือพยายามเชื่อมต่อสัญญาณ wifi เพื่อบอกข่าวคราวให้ทางบ้านได้ทราบและเพื่อหาวิธีที่เราจะไปสู่สถานีรถไฟเพื่อมุ่งหน้าสู่เมืองฮัมบูร์ก โดยพวกเราเลือกใช้รถประจำทางเพื่อเดินทางไปสู่สถานีรถไฟ ถึงแม้สัมภาระของพวกเราจะมีขนาดใหญ่และลำบากในการเคลื่อนย้ายอยู่บ้างแต่ก็ไม่เป็นปัญหาเพราะข้าพเจ้ากับโบนัทคอยช่วยเหลือกันอยู่ตลอด และโชคดีที่ในช่วงนี้ได้มีตัวรถไฟที่เป็นราคาพิเศษสำหรับเดินทางในประเทศ



เยอรมนีในช่วงฤดูร้อน (summer ticket) เป็นตั๋วเดินทาง 4 เทียว ราคารวม 96 ยูโร ซึ่งพวกเราได้รับคำแนะนำมาจากพี่จอมพจน์ (นักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซี ประจำปี 2559) ซึ่งพวกเราคิดเผื่อไว้แล้วว่าเราคงได้ใช้รถไฟระหว่างเมืองอยู่บ่อย ๆ ดังนั้นพวกเราจึงเลือกซื้อตั๋วประเภทนี้ และเริ่มออกเดินทางไปยังสถานีรถไฟ Hamburg Altona ณ เมืองฮัมบูร์กในเวลาประมาณแปดโมงครึ่ง โดยรถไฟที่เรานั่งนั้นเป็นประเภท ICE ซึ่งมีความเร็วสูง แต่กระนั้นก็ยังใช้เวลาประมาณ 4-5 ชั่วโมง

พอมาถึงเมืองฮัมบูร์กเราก็นั่งรถประจำทางสาย 1 เพื่อมุ่งหน้าสู่สถาบันวิจัยเดซี ราคาของตั๋วรถประจำทางต่อเที่ยวอยู่ที่ 3.2 ยูโร ซึ่งค่อนข้างแพงในความเห็นของข้าพเจ้า แต่เมื่อข้าพเจ้าได้ลองนั่งและสังเกต ข้าพเจ้าพบว่ารถประจำทางดังกล่าวจะมีกลไกการเอียงตัวไปหาผู้โดยสารเมื่อมีการจอดเพื่อให้ผู้โดยสารขึ้นหรือลง ซึ่งต่อมาข้าพเจ้าก็เข้าใจว่ากลไกดังกล่าวมีขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้พิการที่ใช้ wheelchair หรือแม้แต่ผู้ปกครองที่เข็นบุตรหลานเข้ามา เพราะการเอียงนี้จะทำให้พื้นในรถประจำทางกับพื้นภายนอกตัวรถนั้นเอียงมาสอดคล้องกันทำให้การเข็นอุปกรณ์เหล่านั้นขึ้นรถมีความสะดวกเป็นอย่างมาก

พวกเรามาถึงเดซีประมาณบ่าย 3 เนื่องจากเราเลือกห้องพักประเภทเดียวกันดังนั้นเราจึงได้พักในอาคารเดียวกันที่อยู่ในสถาบันวิจัยเดซี ซึ่งภายในอาคารนี้มีห้องพักบริการเพียง 18 ห้อง โดยข้าพเจ้าอยู่ห้องที่ 9 ส่วนบอนน์ได้อยู่ห้องสุดท้าย โดยในระหว่างทางเราก็เริ่มพบเห็นนักเรียนที่มาเข้าร่วมกิจกรรมที่ฟังมาถึงบ้างแล้ว และเนื่องจากเราไม่มีอาหารเย็นเผื่อไว้ พวกเราจึงตัดสินใจออกไปเดินเล่นภายนอกสถาบันวิจัย เราเดินตามคุณลุงสองคนที่เราบังเอิญเจอด้วยความหวังว่าเขาจะเดินไปหาอะไรทานเช่นเดียวกัน แล้วเราก็พบกับร้านซูเปอร์มาร์เก็ตเข้าซึ่งใช้เวลาเดินประมาณ 10 นาทีจากที่พักเท่านั้น



## วันอังคารที่ 18 กรกฎาคม 2560

ข้าพเจ้าตื่นขึ้นมาในเวลาประมาณ 05:00 น. คงเป็นเพราะร่างกายยังปรับเวลาไม่ได้ โดยในวันนี้จะมีพิธีเปิดโครงการนักศึกษาฤดูร้อนเดซี 2560 ในเบื้องต้นจะมีการลงทะเบียน ซึ่งในตอนนั้นก็ได้เห็นนักเรียนจากหลากหลายประเทศอยู่เป็นจำนวนมาก โดยพิธีเปิดจะจัดขึ้นในห้องโถงใหญ่โดยได้มีการแนะนำผู้ดูแลโครงการและรายละเอียดต่างๆที่ต้องทราบตลอดโครงการ โดยหลังจากพิธีเปิดเรียบร้อยแล้ว ข้าพเจ้ากับบอนน์ก็จะไปจัดการเรื่องเอกสารต่างๆให้เรียบร้อยและจัดส่งให้กับผู้ดูแลที่รออยู่ด้านนอก ซึ่งระหว่างที่ต่อแถวรอส่งเอกสารนั้นจะเริ่มมีอาจารย์ผู้ดูแล (supervisor) มาคอยยกป้ายชื่อเพื่อตามหานักเรียนที่อยู่ภายใต้ความดูแลของเขา ข้าพเจ้าก็พยายามจะมองหาอาจารย์ของตัวเองแต่ก็ยังไม่เจอสักที แต่ข้าพเจ้าเห็นอาจารย์ของบอนน์ยกป้ายชื่อรออยู่ ข้าพเจ้าจึงบอกบอนน์ให้ไปหา พวกเราต่อแถวอยู่นานเพราะอยู่คนสุดท้าย จนพอจะถึงคิวปรากฏว่าอาจารย์ที่ปรึกษาของข้าพเจ้ามายกป้ายชื่อของข้าพเจ้าในระยะประชิดมาก พอเห็นชื่อตัวเองข้าพเจ้าก็รีบเข้าไปทักอาจารย์ทันที อาจารย์ท่านนี้ชื่อ Paolo เป็นหนึ่งในที่ปรึกษาของข้าพเจ้าและท่านยังดูเด็กมากอยู่เลย พอเราทักทายกันเรียบร้อย อาจารย์ก็พาเดิน

ไปทักทายกับเพื่อนร่วมกลุ่มวิจัยและอาจารย์คนอื่นๆรวมทั้ง Hannes หัวหน้ากลุ่มวิจัย CMS ที่เป็นทีปรึกษาอีกคนของข้าพเจ้า จากนั้นข้าพเจ้าได้แยกกับโบนัทเพื่อไปกับกลุ่มวิจัยของข้าพเจ้า อาจารย์พาข้าพเจ้าและเพื่อนไปดูห้องทำงานและให้โจทย์เล็กๆน้อยๆเพื่อทดสอบความคุ้นเคยในการใช้ระบบปฏิบัติการ Linux อาจารย์ดูแลเราถึงเที่ยงและพาพวกเราไปรับประทานอาหารเที่ยงด้วยกันที่ร้านอาหาร ข้าพเจ้าเพิ่งนึกขึ้นได้ว่าลืมนำเงินติดตัวมาด้วย มื่อนี้ Paolo จึงได้จ่ายให้ข้าพเจ้าก่อน และเนื่องจากข้าพเจ้ายังไม่ค่อยกล้าพูดกับคนอื่นๆ จึงทำให้บรรยากาศในการรับประทานอาหารในครั้งนี้นี้จึงมีแต่เสียงคนอื่นๆคุยกัน

หลังจากนั้นข้าพเจ้าและเพื่อนๆอีก 3 คนในกลุ่มวิจัย ได้แก่ Luis กับ Rafael จากประเทศคิวบา และ Arathi จากประเทศอินเดีย ก็เข้าไปทำโจทย์ต่อในห้องทำงาน และในเวลา 14:00 น.จะมีบรรยายเกี่ยวกับการใช้ห้องสมุด การเข้าถึงฐานข้อมูลวิจัยต่างๆ และการดูแลรักษาความปลอดภัยในการใช้เครื่องมือต่างๆซึ่งข้าพเจ้าได้เข้าไปนั่งใกล้เพื่อนจากเยอรมันคนหนึ่งชื่อ Max และได้ทำความรู้จักกัน โดยหลังจากนั้นข้าพเจ้ามีนัดกับ Hannes ในเวลา 15:00 น. เพื่อเข้าฟังบรรยายเกี่ยวกับงานที่กลุ่มวิจัยกำลังทำในปัจจุบัน และงานที่ข้าพเจ้าและเพื่อนๆในกลุ่มวิจัยจะได้ทำและเรียนรู้ตลอดโครงการ ซึ่งในระหว่างการฟังบรรยาย ข้าพเจ้ารู้สึกที่ข้าพเจ้าแทบฟังไม่รู้เรื่องเลยเพราะยังไม่เคยมีพื้นฐานเกี่ยวกับทฤษฎี standard model มาก่อน จึงเริ่มทำให้ข้าพเจ้าอยากจะรีบเรียนให้รู้เรื่องโดยเร็ว

แต่ในวันนี้ได้มีงานเลี้ยงต้อนรับเหล่านักเรียนภาคฤดูร้อนเดซี ที่ร้านอาหารในเวลา 18:30 น. มีเครื่องดื่มและอาหารเป็นบุฟเฟ่ต์ซึ่งเป็นที่ชื่นชอบของข้าพเจ้าอย่างมาก โดยในตอนนั้นข้าพเจ้ากับโบนัทก็ยังคงไปด้วยกันและยังมีเพื่อนไม่มากนัก แต่ในระหว่างนี้ข้าพเจ้าก็ได้พบกับ Max อีกครั้งและได้นั่งทำความรู้จักกันมากขึ้น ข้าพเจ้ากลับห้องในอีก 2-3 ชั่วโมงต่อมา และพบว่าหลับโดยไม่รู้ตัวอีกแล้ว

## วันพุธที่ 19 กรกฎาคม 2560

ข้าพเจ้าตื่นขึ้นมาเข้าตู่เช่นเคย และในวันนี้จะเริ่มมีการเรียนการสอนในเวลา 10:30 น. ข้าพเจ้าจึงอ่านหนังสือทำความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับ standard model พอใกล้ถึงเวลาเรียนข้าพเจ้าก็จะไปเคาะห้องโบนัทเพื่อจะได้ออกไปเรียนด้วยกัน ถึงแม้ว่าโบนัทจะอยู่ในกลุ่มวิจัย photon science และข้าพเจ้าอยู่ในกลุ่มวิจัย particle physics แต่ในช่วงแรกๆนั้นเนื้อหาของเรียนจะเป็นเนื้อหาพื้นฐานที่พวกเราทั้งสองคนจะยังคงเรียนด้วยกัน โดยก่อนจะเริ่มเรียน ผู้อำนวยการ



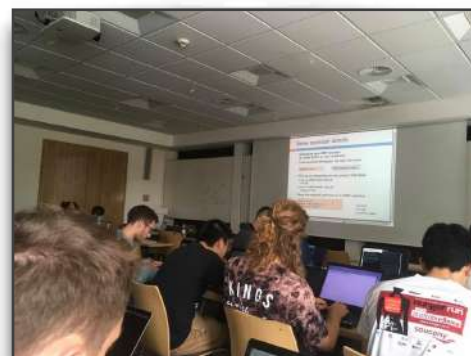
สถาบันวิจัยเดซีก็ได้มากล่าวต้อนรับนักเรียนทุกคนอย่างเป็นทางการที่ห้องโถงใหญ่ และไม่นาน Max ก็เข้ามานั่งกับข้าพเจ้าเพื่อนั่งฟังบรรยายเนื้อหาเรื่อง Particle physics introduction หลังจากนั้นพวกเราไปรับประทานอาหารเที่ยงกัน จากนั้นเราก็แยกย้ายไปตามกลุ่มวิจัย ซึ่ง Max ก็อยู่ในกลุ่มวิจัย CMS แต่คนละอาจารย์ที่ปรึกษา กัน จึงทำให้ตึกที่ทำงานเราอยู่ที่เดียวกัน จึงทำให้เรามีโอกาสได้พูดคุยกันมากขึ้น พอถึงที่ทำงานข้าพเจ้าก็ทำโจทย์ที่ได้รับต่อไป โดยในวันนี้ Hannes ได้ให้โจทย์เพิ่มขึ้น โดยในครั้งนี้เป็น การนำไปสู่ความเข้าใจพื้นฐานของโปรแกรม

ที่ใช้ในงานวิจัย ซึ่งในวันนี้ข้าพเจ้ามีเพื่อนร่วมห้องทำงานเพิ่มอีกคนชื่อ Quentin เป็นคนเยอรมันสูงราว 2 เมตร ซึ่งอยู่ในกลุ่มวิจัย CMS แต่คนละอาจารย์ที่ปรึกษามาใช้ห้องร่วมด้วย โดยในวันนี้ Hannes ได้มีการนัดหมายการเลี้ยงต้อนรับเหล่านักเรียนภาคฤดูร้อนพร้อมกับอาจารย์ท่านอื่นๆเป็นวันพรุ่งนี้ตอนเย็น

นอกจากนี้ในวันนี้มีการสอนวิชาภาษาเยอรมันเบื้องต้นสำหรับผู้สนใจด้วย และแน่นอนข้าพเจ้าได้เข้าไปเรียน แต่ข้าพเจ้าเข้าเรียนสายเพราะหาห้องไม่เจอ จึงทำให้พลาดบางเรื่องไปเช่นตัวเลขและการแนะนำตัวแต่ข้าพเจ้าก็สามารถถามได้จากโบนัท

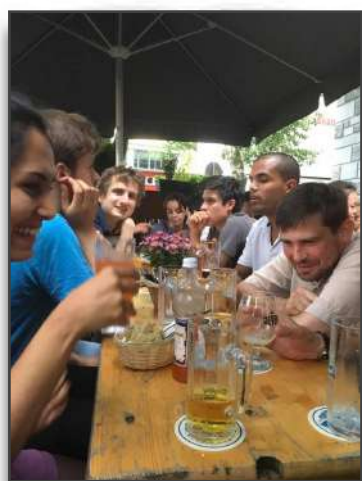
## วันหยุดสัปดาห์ที่ 20 กรกฎาคม 2560

วันนี้มีวิชาเรียนคือ photon science introduction และ particle physics introduction (ต่อ) ถึงแม้จะเป็นแค่ introduction แต่เนื้อหา photon science ก็ทำให้ข้าพเจ้างงอยู่ไม่น้อย วันนี้ Max ไม่เข้าเรียนเพราะเค้าบอกว่าเรียนมาหลายรอบแล้ว บรรยากาศการทำงานในที่ทำงานของข้าพเจ้าวันนี้ก็เหมือนเดิม ยังคงนั่งทำโจทย์ที่อาจารย์มอบหมาย จนถึงวันนี้ข้าพเจ้าฟังได้ทราบว่า เพื่อนๆแต่ละคนในกลุ่มของข้าพเจ้า (Rafael, Luis และ Arathi) จะมีที่ปรึกษา 2 คนเช่นเดียวกัน โดยจะมี Hannes เป็นที่ปรึกษาร่วมของเพื่อนทุกคนซึ่งจะเป็นคนดูแลในภาพรวมเพราะท่านเป็นหัวหน้ากลุ่มวิจัยและที่ปรึกษาอีกคนจะเป็นคนดูแลพวกเราเป็นส่วนใหญ่และจะแตกต่างกันไปในเพื่อนแต่ละคน อย่างเช่นในกรณีของผมจะเป็น Paolo ซึ่งแต่ละคนยังดูไม่แก่เลยสักคน ซึ่งในวันนี้ Paolo ได้บอกผมว่าจะไม่ได้ไปกินเลี้ยงด้วยเพราะเค้าต้องดูแลรรยาที่ขาหักอย่างใกล้ชิด



โดยในเวลา 14:00 น. ข้าพเจ้าได้เข้าร่วมอบรมการใช้โปรแกรม ROOT ในเบื้องต้น ซึ่งเป็นโปรแกรมจัดการข้อมูลและช่วยวิเคราะห์ข้อมูลที่นักฟิสิกส์อนุภาคใช้กันโดยทั่วไป ซึ่งโชคดีที่ Max คอยช่วยเหลือข้าพเจ้าตลอดการอบรม ถึงแม้ในภายหลัง Hannes บอกว่าโปรแกรมนี้อาจไม่จำเป็นกับงานที่พวกข้าพเจ้าจะต้องทำ

ในตอนเย็นเรานัดหมายกันที่หน้าที่ทำงานเพื่อจะเดินทางไปหาร้านอาหารที่ Hannes ได้ทำการจองไว้ โดยในวันนี้



ข้าพเจ้าได้เห็นสมาชิกคนอื่นในกลุ่มวิจัยจนครบทุกคนซึ่งมีประมาณ 12 คน Hannes บอกว่าให้ทุกคนจ่ายค่าอาหารเพียงแค่คนละ 5 ยูโร ส่วนที่เหลือเขาจะจัดการเอง เป็นหัวหน้ากลุ่มวิจัยที่ใจดีมาก เราเดินทางโดยใช้รถประจำทาง ซึ่งในวันนี้ทำให้ผมทราบว่ามันมีราคาตัวโดยสารสำหรับการเดินทางแบบกลุ่ม (group ticket) ซึ่งเมื่อเฉลี่ยเป็นรายหัวแล้วราคาจะถูกลงกว่าการซื้อคนเดียวเป็นอย่างมาก ในระหว่างเดินทางข้าพเจ้าก็สงสัยว่าทำไม Rafael และ Luis ถึงได้สนิทกับอาจารย์คนอื่นได้เร็ว ในภายหลังผมก็ได้ทราบว่าคนเหล่านั้นเป็นคนคิวบาหรือไม่ก็สามารถพูดภาษาสเปนได้นั่นเอง วันนี้ข้าพเจ้าได้ลองทานเนื้อไก่ย่างเป็นครั้งแรกซึ่งทำให้ผมทราบว่าเนื้อไก่อร่อยกว่าและนอกจากนี้ยังได้ชิมเบียร์จากประเทศเยอรมันร่วมโต๊ะกับนักวิจัยทั้งหลายอีกด้วย



## วันศุกร์ที่ 21 กรกฎาคม 2560

ในวันนี้ก็มีการเรียนเช่นเดิมและเป็นเรื่องที่ต้องจาก introduction ที่เรียนไปเมื่อวันก่อน และช่วงบ่ายข้าพเจ้าก็ยังคงไปทำโจทย์ที่ได้รับต่อ ข้าพเจ้าสังเกตเห็นว่า Rafael และ Luis เริ่มที่จะไม่เข้ามาที่ห้องทำงานแล้ว เพราะพวกเขาใช้คอมพิวเตอร์ส่วนตัวในการทำงานแทน ดังนั้นในห้องจึงมีแค่ข้าพเจ้าและ Arathi ร่วมกันแก้โจทย์ต่อไป ส่วน Quentin ก็อยู่ทำงานของเค้าเองที่ได้รับจากอาจารย์ท่านอื่นซึ่งไม่เกี่ยวกับกับส่วนของข้าพเจ้า แต่ในวันนี้ Paolo ได้มาบอกผมว่าสัปดาห์หน้าเขาจะไม่อยู่ทั้งสัปดาห์ เพราะเขาจะลาพักผ่อนไปเที่ยวกับครอบครัว ซึ่งทำให้ผมรู้สึกประหม่าเล็กน้อย เพราะที่ผ่านมาก็คาดว่าผมอยู่ตลอด และในตอนเย็นวันนี้เริ่มมีเพื่อนบางคนนัดหมายกันใน



กลุ่ม Facebook เพื่อจะไปเที่ยวชมเมือง ซึ่งผมตัดสินใจไปด้วย โดยเราไปชมมาหลายที่มากและได้ไปรับประทานอาหารเย็นร่วมกันอีกด้วย โดยข้าพเจ้าไม่สามารถที่จะจำชื่อเพื่อนทุกคนได้ในวันนี้และข้าพเจ้าตั้งใจว่าในวันต่อไปถ้าข้าพเจ้ารู้จักชื่อเพื่อนใหม่จะรีบจดบันทึกไว้เพราะชื่อเพื่อนต่างประเทศนั้นจำได้ยากมากสำหรับข้าพเจ้า เรากินเลี้ยงกันถึงตี 2 และกลับเข้าที่พัก และไม่แน่ว่าจะมีเพื่อนบางคนจะยังมีแผนจะออกไปเที่ยวต่างเมืองในเวลา 6 โมงเช้าต่อด้วย โดยเขาบอกว่าคอยนอนในรถไฟก็ได้ ซึ่งผมขอตัดสินใจดูก่อน

## วันเสาร์ที่ 22 กรกฎาคม 2560

ข้าพเจ้ายังคงตื่นมาเช้าเช่นเคย โดยข้าพเจ้าเพิ่งจะหลับไปได้ 4 ชั่วโมง วันนี้ข้าพเจ้าได้ทำอาหารเป็นครั้งแรกนั่นคือผัดมาม่ากุ้ง เพราะปกติข้าพเจ้าจะทานแต่แซนด์วิชและอาหารเช้าแบบฝรั่ง และข้าพเจ้าก็ตัดสินใจไม่ไปเที่ยวกับเพื่อน



ต่างชาติ แต่ไปเที่ยวกับโบสถ์ภายในเมืองฮัมบูร์กแทน โดยเราไปที่ Miniature Wonderland ซึ่งเป็นการนำสถานที่ต่างๆในโลกมาย่อส่วนลงมาจัดแสดงในอาคารนี้ ซึ่งความละเอียดของชิ้นงานนั้นไร้ที่ติมากๆ การเดินทางกลับของพวกเราในวันนี้ได้มีโอกาสไปขึ้นรถไฟที่สถานีหลักของเมืองซึ่งค่อนข้างใหญ่เมื่อเทียบกับสถานี Hamburg Altona ที่เคยไปมา



## วันอาทิตย์ที่ 23 กรกฎาคม 2560

วันอาทิตย์ที่ประเทศเยอรมันนั้นเป็นวันที่ร้านค้าส่วนใหญ่ปิดให้บริการ ซึ่งรวมไปถึงซูเปอร์มาร์เก็ตด้วยจึงทำให้วันนี้ข้าพเจ้าและบัณฑิตพักผอนอยู่ที่ห้อง โดยข้าพเจ้าใช้เวลาส่วนใหญ่ไปกับการอ่านหนังสือทำความเข้าใจเกี่ยวกับ standard model ต่อไป

## วันจันทร์ที่ 24 กรกฎาคม 2560

ในวันนี้ได้เรียนเรื่องใหม่นั้นคือ Accelerator physics หลังจากนั้นในตอนบ่ายผมก็กลับเข้าไปทำงานต่อโดยที่ไม่มี Paolo มาดูแล ซึ่งวันนี้จะมีเพื่อนกลุ่มหนึ่งไปเยี่ยมชมบริเวณรอบๆเดซี ส่วนข้าพเจ้าและบัณฑิตเลือกเข้าร่วมอีกวันหนึ่งคือวันรุ่งขึ้น ซึ่งเพื่อนในกลุ่มวิจัยข้าพเจ้าได้ไปกันหมดในวันนี้จึงทำให้ข้าพเจ้าได้เข้าประชุมกับอาจารย์ที่ปรึกษาทั้งหลายเพียงลำพัง โดย Hannes ได้บอกเทคนิคที่ควรใช้ในการทำความเข้าใจกับโจทย์ที่เขาให้มา ซึ่งข้าพเจ้าก็ได้ลองเอากลับไปทำ และตอนเย็นข้าพเจ้าก็เข้าเรียนภาษาเยอรมันเบื้องต้นเช่นเคย

## วันอังคารที่ 25 กรกฎาคม 2560

ตอนบ่ายของวันนี้เป็นวันที่ข้าพเจ้าและบัณฑิตลงชื่อไว้เพื่อไปกิจกรรม DESY Tour ซึ่งวันนี้จะเป็นวันที่นักเรียนที่ไม่ได้ลงชื่อไปเมื่อวานได้เข้าเยี่ยมชมอุปกรณ์การทดลองต่างๆภายในบริเวณสถาบันวิจัยเดซี ซึ่งทำให้ข้าพเจ้าได้มีโอกาสได้เห็นเครื่องเร่ง HERA ที่ใช้งานมาอย่างยาวนานและปัจจุบันได้ยุติการใช้งานแล้ว และเป็นได้เพียงแค่อพิธิภัณฑ์ที่ให้เราได้มาเยี่ยมชมความยิ่งใหญ่ของมัน และนอกจากนี้เขายังพาไปดูตึกที่ทำการทดลองในกลุ่ม photon science อีกด้วย ซึ่งนับว่าเป็นกิจกรรมที่ทำให้เราได้เห็นภาพรวมของสถาบันวิจัยเดซีได้ดีทีเดียว



## วันพุธที่ 26 กรกฎาคม 2560

วันนี้ได้เรียนเกี่ยวกับเรื่องหัวข้อชนิดต่างๆที่ใช้ในงานวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูง และในเย็นวันนี้จะมีกิจกรรม Harbour boat trip เป็นการพานักศึกษาฤดูร้อนนั่งเรือชมบรรยากาศเมืองฮัมบูร์กที่ซึ่งเป็นเมืองท่าที่สำคัญของประเทศเยอรมนี ข้าพเจ้าและบัณฑิตตัดสินใจเลือกไปวันนี้ โดยพวกเราพร้อมกับเพื่อนที่เหลือได้นัดกันบริเวณทางเข้าประตูเพื่อจะออกเดินทางไปด้วยพร้อมๆกัน ซึ่งทำให้พวกเรารู้จักเพื่อน ๆ มากขึ้น เราใช้เวลาอยู่บนเรือ 2 ชั่วโมง จากนั้นเราก็ไปหาอะไรทานกัน พวกเราเลือกไปทานอาหาร Mediterranean และในวันนี้เองที่ Brian เพื่อนชาวออสเตรเลียได้ทำให้ข้าพเจ้าได้รู้จักแอปพลิเคชันที่ช่วยให้การเดินทางนั้นง่ายขึ้นนั่นคือ Citimap



## วันหยุดที่ 27 กรกฎาคม 2560

วันนี้เนื้อหาการเรียนนั้นเหมือนเมื่อก่อน และผมก็ยังคงทำโจทย์ที่ได้รับต่อไป โดยในตอนเย็นก็จะเป็นวัน Harbour boat trip สำหรับเพื่อนที่ยังไม่ได้ไป แต่ข้าพเจ้าได้ไปมาแล้ว จึงทำอาหารทานอยู่ที่พักและได้มีโอกาสพูดคุยกับเพื่อนๆภายในหอพักมากยิ่งขึ้น

## วันศุกร์ที่ 28 กรกฎาคม 2560

วันนี้เป็นวันแรกที่เนื้อหาการเรียนเริ่มเข้าสู่ทฤษฎี ซึ่งด้วยเวลาเพียงไม่กี่ชั่วโมงข้าพเจ้ามองว่าเป็นไปได้ยากที่จะสอนให้คนที่ไม่เคยเรียนมาก่อนเข้าใจได้ ดังนั้นข้าพเจ้าจึงได้แต่จดแล้วนำกลับไปถามอาจารย์ที่ปรึกษาหรือไม่ก็อ่านเองในภายหลัง ส่วนในตอนเย็นวันนี้ข้าพเจ้าและเพื่อนในหอพักได้เข้าไปเล่นเทศกาลสวนสนุกที่มาจัดขึ้นในตัวเมืองฮัมบูร์กซึ่งทำให้ข้าพเจ้าเริ่มสนิทสนมกับเพื่อนในหอพักมากขึ้น



## วันเสาร์ที่ 29 กรกฎาคม 2560

ถึงวันนี้จะเป็นวันหยุด แต่ข้าพเจ้าก็ไม่ได้ไปเที่ยวไหน ข้าพเจ้าจัดการทำความสะอาดห้องและไปซื้อของเตรียมตัวไว้สำหรับวันต่อไป โดยเวลาส่วนใหญ่ในวันนี้คือการอ่านหนังสือทำความเข้าใจเกี่ยวกับ quantum chromodynamics ที่ข้าพเจ้าจะต้องทำความเข้าใจโดยเร็ว เพราะมันเกี่ยวกับงานที่จะต้องทำ ส่วนในตอนเย็นข้าพเจ้าก็ออกมาทานอาหารกับเพื่อนๆที่ห้องทานข้าว โดยเราคุยกันว่าจะไปเที่ยวที่เมือง Lübeck ในวันพรุ่งนี้



## วันอาทิตย์ที่ 30 กรกฎาคม 2560

วันนี้ข้าพเจ้าและเพื่อนๆตื่นตั้งแต่ตอนเช้าเพื่อจะไปให้ทันรถไฟที่จะออกไปยังเมือง Lübeck ซึ่งเมืองนี้เป็นเมืองที่มีประวัติศาสตร์ที่น่าสนใจ โดยตอนเย็นพวกเราก็ไปต่อที่ชายหาด travemünde ซึ่งที่นี่พวกเราได้



เล่นน้ำทะเลซึ่งเป็นสวรรค์ที่คนเยอรมันรอคอยมาตลอดปี เพราะอุณหภูมิน้ำช่วงนี้จะอุ่นพอให้เล่นได้ แต่ถึงกระนั้นสำหรับข้าพเจ้ามันก็นาวมากอยู่ดี ในวันนี้เรากลับถึงที่พักประมาณ 2 ทุ่ม ทุกคนต่างทำอาหารของตัวเองมาทานร่วมกันที่ห้องรับประทานอาหาร จากนั้นก็แยกย้ายกันเข้านอน



## วันจันทร์ที่ 31 กรกฎาคม 2560

วันนี้ก็ยังคงเรียนทฤษฎีต่อไป แต่ว่าวันนี้ Paolo ได้กลับมาแล้ว และในการประชุมกลุ่มวิจัยในวันนี้ข้าพเจ้าและเพื่อนๆได้ทราบเกี่ยวกับเรื่องที่จะได้ทำในอนาคต ที่น่าแปลกคืองานของข้าพเจ้าแตกต่างไปจากเพื่อนคนอื่นๆแต่ Paolo ค่อนข้างตื่นเต้นที่จะให้ข้าพเจ้าได้ทำงานชิ้นนี้ แต่เมื่อข้าพเจ้าได้ฟังคำอธิบายในเบื้องต้นนั้นข้าพเจ้าก็ยังคงไม่เข้าใจ โชคดีที่ Paolo นั้นพยายามอธิบายทุกขั้นตอนอย่างละเอียดจนข้าพเจ้าเริ่มเข้าใจขึ้นมาเรื่อยๆ งานของข้าพเจ้าที่ได้รับมอบหมายคือการวิเคราะห์คุณสมบัติการขึ้นอยู่กัพลังงานของพารามิเตอร์ตัวหนึ่งว่ามันขึ้นต่อกันอย่างไร และสามารถปรับปรุงความสัมพันธ์ที่เคยถูกเสนอขึ้นมาได้หรือไม่ แต่กว่าจะไปถึงจุดนั้นข้าพเจ้าจะต้องศึกษาเครื่องมือที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ก่อนซึ่งน่าจะใช้เวลาประมาณ 1 สัปดาห์ ส่วนในตอนเย็นข้าพเจ้าก็เข้าไปเรียนภาษาเยอรมันเช่นเคย โดยนักเรียนที่เข้ามาเรียนนั้นเริ่มน้อยลงๆเรื่อยๆ

## วันอังคารที่ 1 ถึงวันศุกร์ที่ 4 สิงหาคม 2560

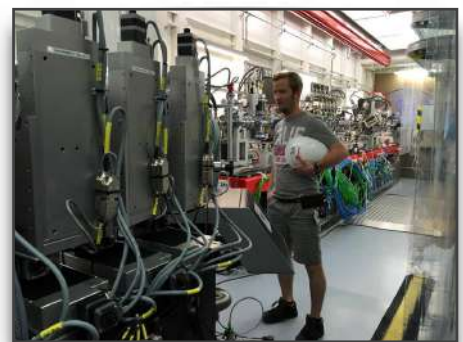
ในช่วงนี้เนื้อหาที่ได้เรียนยังคงเป็นทฤษฎีที่เกี่ยวกับฟิสิกส์พลังงานสูงและนอกจากนี้เนื้อหายังเข้าสู่เรื่อง quantum chromodynamic ซึ่งเป็นเรื่องที่ข้าพเจ้าได้ใช้โดยตรงในงานที่จะได้ทำ และเนื่องจากข้าพเจ้าพอรู้เนื้อหาคร่าวๆมาจากการอ่านล่วงหน้าและจากอาจารย์ที่ปรึกษาของข้าพเจ้า จึงทำให้ในช่วงนี้ข้าพเจ้าค่อนข้างที่จะฟังรู้เรื่อง แต่กระนั้นมันก็ยังเร็วและอัดแน่นไปอยู่ดี ส่วนในช่วงบ่ายในแต่ละวันนั้นข้าพเจ้าก็ยังคงศึกษาเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยของข้าพเจ้าโดย Paolo บอกว่าข้าพเจ้าจะเริ่มทำการวิเคราะห์ได้ต้องรอข้อมูลก่อน ซึ่ง Paolo กำลังเตรียมข้อมูลให้และน่าจะเป็นระยะเวลาหลายวัน

## วันเสาร์ที่ 5 และวันอาทิตย์ที่ 6 สิงหาคม 2560

ถึงแม้ในช่วงนี้จะเป็นช่วงวันหยุดแต่ข้าพเจ้าก็ไม่ได้ออกไปไหนกับเพื่อน ในทางกลับกันข้าพเจ้าอ่านหนังสือเพื่อเตรียมตัวสอบภาษาอังกฤษที่ได้สมัครไว้เพื่อสอบที่เมืองฮัมบูร์กในวันศุกร์ที่จะถึงนี้ สลับกับการอ่านเนื้อหาทฤษฎีที่ข้าพเจ้าต้องใช้ในงานวิจัย

## วันอังคารที่ 8 สิงหาคม 2560

ช่วงบ่ายของวันนี้จะมีกิจกรรมไปเยี่ยมชม European XFEL กับกลุ่มเพื่อนประมาณ 20 คน ซึ่งมีให้เลือกเวลาไปได้ 3 รอบ ข้าพเจ้าเลือกไปรอบสุดท้ายนั่นคือ 16:00 น. ซึ่งในปีนี้เป็นปีที่ศูนย์วิจัยนี้เปิดใช้งานอย่างเป็นทางการอีกด้วย แต่เมื่อข้าพเจ้าได้เข้าไปชมภายในพบว่ายังมีบางส่วนที่กำลังติดตั้งอยู่



## วันพุธที่ 9 สิงหาคม 2560

ในวันนี้ Paolo ได้ส่งข้อมูลที่เตรียมเสร็จแล้วบางส่วนเพื่อให้ข้าพเจ้าได้ลองหาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์กับพลังงานดู ซึ่งแต่เดิมความสัมพันธ์ดังกล่าวเชื่อว่าเป็นแบบเลขยกกำลัง (เอ็กซ์โพเนนเชียล) แต่ข้าพเจ้าพบว่าความสัมพันธ์แบบลอการิทึมก็พอใช้ได้จึงทำให้ Paolo แปลกใจว่าทำไมเขาคิดไม่ถึง และยังบอกอีกว่าจะรีบนำข้อมูลชุดใหม่มาให้ข้าพเจ้าวิเคราะห์โดยเร็ว และในช่วงเย็นวันนี้ Quentin เพื่อนร่วมห้องทำงานของข้าพเจ้าบอกว่าในทุกวันพุธ 17:00 น. บุคลากรในเดซีมีกิจกรรมเล่นกีฬาบาสเก็ตบอลร่วมกัน ซึ่งถ้ามีนักเรียนภาคฤดูร้อนที่สนใจก็สามารถไปร่วมเล่นได้ โดยส่วนตัวข้าพเจ้านั้นชื่นชอบกีฬาบาสเก็ตบอลเป็นอย่างมาก ข้าพเจ้าจึงไม่พลาดที่จะไปเล่นด้วย นอกจากนี้ในช่วงค่ำของวันนี้จะมีกิจกรรมดูภาพยนตร์ที่จะจัดขึ้นเป็นครั้งแรกในค่ายปีนี้ แต่น่าเสียดายที่ภาพยนตร์ที่จะฉายเป็นเรื่องที่ข้าพเจ้าเคยดูแล้ว ข้าพเจ้าก็ไม่อยากเสียเวลาอ่านหนังสือเพื่อเตรียมสอบภาษาอังกฤษ ดังนั้นในสัปดาห์นี้ข้าพเจ้าจึงตัดสินใจไม่ไปดู



## วันพฤหัสบดีที่ 10 สิงหาคม 2560

วันนี้ไม่มีคาบเรียน ดังนั้นข้าพเจ้าจึงเข้าไปทำงานตั้งแต่เช้าเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลต่อ ข้าพเจ้ายังไม่สามารถหาฟังก์ชันใหม่ๆที่จะพอนำมาใช้อธิบายความสัมพันธ์ดังกล่าวนอกจากฟังก์ชันลอการิทึม ซึ่ง Paolo ก็ไม่คิดว่าจะมีอะไรดีกว่านี้แล้ว แต่ก็ยังอยากให้ข้าพเจ้าลองคิดต่อ ซึ่งในวันนี้ข้าพเจ้าก็ได้บอก Paolo ว่าจะไม่เข้ามาทำงานในช่วงเช้าวันพรุ่งนี้เพราะจะขอลาไปสอบภาษาอังกฤษที่ข้าพเจ้าได้สมัครไว้

## วันศุกร์ที่ 11 สิงหาคม 2560

ข้าพเจ้าตื่นตั้งแต่เช้าเพราะกลัวว่าจะเดินทางไปที่สนามสอบไม่ถูกถึงแม้ว่าข้าพเจ้าจะศึกษาเส้นทางและวางแผนการเดินทางเป็นอย่างดีแล้วตั้งแต่เมื่อวาน ผลปรากฏว่ามีช่วงที่ข้าพเจ้าขึ้นรถผิดสายจนเกือบทำให้พลาดจากการสอบ แต่โชคดีที่เข้าสอบได้ตรงเวลา หลังจากสอบเสร็จแล้ว ข้าพเจ้าก็มุ่งตรงกลับมาทำงานต่อที่ห้องทำงาน โดยในช่วงเย็นวันนี้โบนัทอยากทานอาหารไทยซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกันกับข้าพเจ้า เพราะพวกเราคิดถึงอาหารไทยมาก เราจึงออกเดินทางไปทานอาหารไทยที่ขึ้นชื่อที่สุดในเมืองฮัมบูร์ก เมื่อไปถึงร้านข้าพเจ้าได้พบเจอกับพนักงานและเจ้าของร้านเป็นคนไทยแทบทั้งหมด ทำให้ได้บรรยากาศความเป็นไทยมากยิ่งขึ้นไปอีก โดยราคาอาหารวันนี้ค่อนข้างแพง แต่พวกเรายอมที่จะจ่ายเพื่อจะได้หายคิดถึงอาหารไทยไปสักพัก หลังจากนั้นพวกเรา ก็พยายามหาทางกลับและหลงทางอยู่พอสมควรเนื่องจากเส้นทางเดินรถประจำทางได้ถูกยุติการใช้งานชั่วคราวซึ่งแอปพลิเคชันไม่สามารถบอกเราได้ จึงทำให้เราไปถึงที่พักค่อนข้างดึก



## วันเสาร์ที่ 12 สิงหาคม 2560

วันนี้ข้าพเจ้าอยู่ห้องทั้งวันเพื่อพักผ่อนและได้มีการทักทายคุณแม่ผ่านทาง Facebook เพราะว่าวันนี้เป็นวันแม่ และในช่วงเย็นของวันนี้เพื่อนๆในหอพักก็วางแผนกันว่าจะไปเที่ยวทะเลกันในวันพรุ่งนี้ น่าเสียดายที่โบนท์ไม่ได้ไปอีกแล้วเพราะครั้งนี้อาจารย์ที่ปรึกษาของเธอนัดทำงานแม้กระทั่งในวันอาทิตย์

## วันอาทิตย์ที่ 13 สิงหาคม 2560

ข้าพเจ้าและเพื่อนๆตื่นกันแต่เช้าตรู่เพื่อออกเดินทางไปยังเมือง Sylt ซึ่งเป็นเกาะเล็กๆทางด้านตะวันออกของประเทศเยอรมนี ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมงบนรถไฟ เมื่อไปถึงข้าพเจ้าได้เจอกับอากาศที่หนาวมากซึ่งทำให้ข้าพเจ้าคิดในใจว่าจะมาเล่นทะเลเย็นๆอีกแล้วหรือ จุดเด่นของเมืองนี้คือเป็นเมืองเล็กๆที่สามารถปั่นจักรยานชมวิวทิวทัศน์ และสัมผัสกับลมเย็นๆได้ตลอดวัน พวกเราจึงเช่าจักรยานและปั่นไปตามทางเพื่อไปยังชายหาด ข้าพเจ้าแทบไม่อยากจะเชื่อว่าเกือบทุกคน



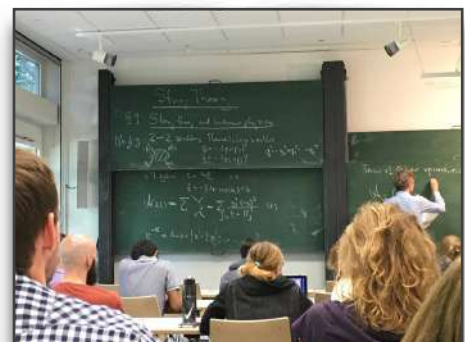
ลงเล่นน้ำทะเลไม่ว่าจะเป็นผู้หญิงและผู้ชายเพราะอุณหภูมิของอากาศและน้ำนั้นเย็นมากจริงๆ เรากินลมชมวิวยูที่นี้ราวๆ 1 ชั่วโมง จากนั้นเราก็ไปรับประทานอาหารกลางวันด้วยกัน แล้วในช่วงบ่ายเรายังคงปั่นจักรยานอย่างต่อเนื่องเพื่อไปเที่ยวชมเมืองให้ได้มากที่สุด แต่ไม่มีใครรู้เลยว่าวันนี้เป็นการปั่นจักรยานที่ทรหดมากครั้งหนึ่งในชีวิตของข้าพเจ้า เราปั่นจักรยานเป็นเวลาทั้งสิ้น 4 ชั่วโมง และเพื่อนบางคนทำให้ข้าพเจ้าตะลึงในความแข็งแรงของเขามากซึ่งมันติดกับรูปร่างที่ผอมบางของพวกเขา ความเหนื่อยและความสนุกนี้จะทำให้ข้าพเจ้าไม่มีวันลืมอย่างแน่นอน

ลงเล่นน้ำทะเลไม่ว่าจะเป็นผู้หญิงและผู้ชายเพราะอุณหภูมิของอากาศและน้ำนั้นเย็นมากจริงๆ เรากินลมชมวิวยูที่นี้ราวๆ 1 ชั่วโมง จากนั้นเราก็ไปรับประทานอาหารกลางวันด้วยกัน แล้วในช่วงบ่ายเรายังคงปั่นจักรยานอย่างต่อเนื่องเพื่อไปเที่ยวชมเมืองให้ได้มากที่สุด แต่ไม่มีใครรู้เลยว่าวันนี้เป็นการปั่นจักรยานที่ทรหดมากครั้งหนึ่งในชีวิตของข้าพเจ้า เราปั่นจักรยานเป็นเวลาทั้งสิ้น 4 ชั่วโมง และ



## วันจันทร์ที่ 14 สิงหาคม 2560

วันนี้ข้าพเจ้าได้เรียน String Theory เป็นครั้งแรกในชีวิต ซึ่งคณิตศาสตร์ของมันหลังจากที่เรียนในวันนี้ข้าพเจ้าไม่เข้าใจเลย แต่อย่างน้อยที่สุดข้าพเจ้าพอจะเห็นภาพว่ามันเป็นทฤษฎีที่อาจมีศักยภาพพอที่ใช้อธิบายแรงโน้มถ่วงกับแรงอื่นๆไปพร้อมๆกันได้ ในตอนเย็นข้าพเจ้าก็เข้าเรียนภาษาเยอรมัน ซึ่งวันนี้ได้รู้จักกับคำกริยาเป็นจำนวนมากพร้อมกับวิธีใช้งาน



## วันอังคารที่ 15 สิงหาคม 2560

ในวันนี้ยังคงเรียนทฤษฎีอัดแน่นเช่นเคย ซึ่งวันนี้เรียน 2 หัวข้อคือ Electroweak and Higgs กับ Beyond standard model ซึ่งถึงแม้มันจะไม่เกี่ยวข้องกับงานที่ข้าพเจ้าได้ทำเลย แต่ข้าพเจ้าเห็นว่าความรู้ทุกอย่างนั้นมีความเชื่อมโยงต่อกันไม่มากก็น้อย ดังนั้นการเข้าฟังทุกวิชาเรียนจึงอาจส่งผลต่อข้าพเจ้าไม่ทางใดก็ทางหนึ่ง แต่งานการวิเคราะห์ของข้าพเจ้านั้นยังไม่มีควมคืบหน้างานข้าพเจ้าได้แต่คิดว่าข้อมูลที่ Paolo มอบให้ นั้นอาจยังไม่ถูกต้องแต่ถึงกระนั้นข้าพเจ้าก็ได้แค่คิด ประกอบกับว่า Paolo คิดว่าฟังก์ชันยกกำลังอาจเป็นฟังก์ชันที่ดีที่สุดแล้วในการอธิบายความสัมพันธ์ดังกล่าวและเป็นไปได้ยากที่ข้าพเจ้าจะหาอะไรมาแทนได้ ซึ่งได้ทำให้ข้าพเจ้าคล้อยเชื่อตามไปด้วยว่าคงไม่มีทางหาได้แล้ว

## วันพุธที่ 16 สิงหาคม 2560

ตอนเย็นวันนี้ข้าพเจ้าก็ยังคงไปเล่นบาสเก็ตบอลกับเพื่อนๆและบุคลากรในเดซีเช่นเคย โดยหลังจากเล่นเสร็จแล้ว Aron เพื่อนร่วมหอพักชาวฮังการีได้ชวนข้าพเจ้าไปนั่งกินลมชมวิวที่ริมหาดแห่งหนึ่งในเมืองฮัมบูร์กพร้อมกับเพื่อนคนอื่นๆ จึงทำให้ข้าพเจ้าพลาดกิจกรรมการดูหนังเป็นครั้งที่ 2 แต่ก็ไม่เป็นไร เพราะภาพยนตร์ที่เพื่อนๆจะดูกันก็ยังคงเป็นเรื่องที่ข้าพเจ้าเคยดูมาแล้ว เมื่อไปถึงชายหาดข้าพเจ้าก็พบว่ามิเพื่อนบางคนมารออยู่แล้ว โดยเราใช้เวลาอยู่ที่หาดราวๆ 2 ชั่วโมงซึ่งไม่น่าเชื่อว่าจะมีดาวตกให้พวกเราได้สังเกตเห็นด้วย หลังจากนั้นพวกเราไปนั่งเรือเฟอร์รี่เพื่อรับชมบรรยากาศเมืองฮัมบูร์กในยามค่ำคืนกันต่อซึ่งมันเป็นเรือขนส่งสาธารณะที่ยังคงใช้ตัวโดยสารร่วมกันกับทั้งรถประจำทางและรถไฟใต้ดิน ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้ข้าพเจ้าชื่นชมได้อยู่ตลอดกับระบบการขนส่งที่มีประสิทธิภาพของที่นี่ หลังจากนั้นเราตัดสินใจที่จะเดินทางกลับที่พักเพราะเวลามันก็ดึกมากแล้วแต่พวกเพื่อนๆตัดสินใจที่จะใช้วิธีการปั่นจักรยานกลับ ในตอนแรกข้าพเจ้าก็ไม่เข้าใจก็เพราะไม่เห็นมีใครมีจักรยานสักคน และข้าพเจ้าได้มาทราบทีหลังว่าที่นี่ก็มีจักรยานสาธารณะเช่นกัน ยิ่งทำให้ข้าพเจ้ารู้สึกประหลาดใจเป็นอย่างมาก โดยหากเราปั่นจักรยานโดยใช้เวลาไม่เกิน 30 นาที ระบบจะไม่คิดค่าใช้จ่ายกับเรา แต่กระนั้นความเหน็ดเหนื่อยจากการปั่นจักรยานที่เมือง Sylt ยังคงทำให้ข้าพเจ้ารู้สึกประหม่าในการปั่นจักรยานในครั้งนี้ เราปั่นใช้เวลา 30 นาทีเพื่อเดินทางจากท่าเรือกลับไปยังเดซี ซึ่งก็ทำให้ข้าพเจ้ารู้สึกเหนื่อยอยู่พอสมควร

## วันพฤหัสบดีที่ 17 สิงหาคม 2560

วันนี้ไม่มีวิชาเรียน ข้าพเจ้าจึงเข้าทำงานตั้งแต่เช้า และได้พบกับอีมเมลจาก Arathi ว่าวันนี้เป็นวันครบรอบวันเกิดของเธอและพร้อมกันนั้นยังเป็นวันที่เธอสอบจบปริญญาตรีผ่านแล้ว ดังนั้นเธอจึงอยากเชิญทุกคนมาร่วมทานเค้กฝีมือของเธอในห้องกาแฟตอนบ่ายนี้ ซึ่งข้าพเจ้าได้มีโอกาสสอวยพรวันเกิดและชิมเค้กของเธอตั้งแต่อยู่ในห้องทำงานด้วยกันแล้ว แต่ข้าพเจ้าก็ยังคงไปร่วมงานฉลองขนาดย่อมที่ห้องกาแฟกับเธออีกครั้ง คนส่วนใหญ่ที่มาก็เป็นคนในกลุ่มวิจัยของข้าพเจ้าและเพื่อนๆของ Arathi และ ณ เวลานี้เองที่ Hannes เข้ามาถามความคืบหน้าในงานของข้าพเจ้า แล้วท่านพูดประโยคหนึ่งว่า ตอนนี้คุณหาได้แค่ฟังก์ชันลอการิทึมใช้ไหม ข้าพเจ้าก็ตอบตามความจริงไปว่าใช่ แต่ข้าพเจ้าไม่ทราบว่าจะไม่เสียดายคำถามของ Hannes ยังคงดังก้องไปมาในหัวของข้าพเจ้า แล้วทำให้ข้าพเจ้า

อุทิศใจได้ว่า “แล้วถ้ามันมีฟังก์ชันอื่นขึ้นมาจริงๆละ” ซึ่งทั้งหมดนี้เกิดจากความตายใจของข้าพเจ้าประกอบกับความคิดเห็นที่ได้รับฟังจาก Paolo ที่ทำให้ข้าพเจ้าคิดว่าไม่น่าจะมีฟังก์ชันอื่นอีกแล้ว ดังนั้นข้าพเจ้าจึงรีบลงไปยังห้องทำงานเพื่อพยายามวิเคราะห์หาฟังก์ชันอื่น ๆ ที่มีความเป็นไปได้ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนมากขึ้นไปอีก โดย Arathi ยังชวนข้าพเจ้าไปกินเลี้ยงวันเกิดของเธอในตอนเย็นอีกครั้ง ซึ่งข้าพเจ้าตอบปฏิเสธไปเพราะยังมีความกระตือรือร้นในการทำงานอยู่ ข้าพเจ้าคิดว่าเวลาที่จะผ่านไปไม่นาน แต่ที่จริงแล้วมันคือ 2 ทุ่ม ข้าพเจ้าคิดว่ามันตึกเกินไปแล้วสำหรับวันนี้ ข้าพเจ้าจึงกลับที่พักเพื่อทำอาหารแล้วรีบเข้านอน

### วันศุกร์ที่ 18 สิงหาคม 2560

ในวันนี้ข้าพเจ้ายังคงมุ่งหาฟังก์ชันที่เหมาะสมต่อไป และไม่น่าเชื่อว่าข้าพเจ้าสามารถหามันพบจนได้ แต่รูปร่างหน้าตาของมันไม่สวยงามเลย ซึ่งเป็นไปได้ยากที่จะมีเหตุผลทางทฤษฎีมารองรับลักษณะฟังก์ชันเช่นนี้ แต่ข้าพเจ้าก็อธิบายไม่ได้ว่าเหตุใดจึงเป็นเช่นนี้ โดยฟังก์ชันดังกล่าวคือฟังก์ชันอินเวอร์สแทนเจนของฟังก์ชันลอการิทึม หรือไม่ก็ฟังก์ชันลอการิทึมของฟังก์ชันอินเวอร์สแทนเจน ข้าพเจ้าค้นพบฟังก์ชันเหล่านี้ในตอนเย็น และยังไม่ทันที่ข้าพเจ้าจะส่งผลลัพธ์ไปให้ Paolo คอมพิวเตอร์ของข้าพเจ้าได้เกิดการขำรูดชั่วคราวและข้าพเจ้าไม่สามารถที่จะเปิดมันขึ้นมาได้ ดังนั้นจึงต้องรอถึงวันจันทร์จนกว่า Paolo จะได้เห็นฟังก์ชันและประสิทธิภาพของมันในการพิตกับข้อมูล

### วันเสาร์ที่ 19 และวันอาทิตย์ที่ 20 สิงหาคม 2560

ในสุดสัปดาห์นี้ข้าพเจ้าอ่านหนังสืออยู่ในห้องเป็นส่วนใหญ่เพื่อจะเตรียมตัวสอบภาษาอังกฤษอีกอันหนึ่งที่ข้าพเจ้าได้สมัครสอบไว้ในวันเสาร์หน้า

### วันจันทร์ที่ 21 สิงหาคม 2560

ในวันนี้ข้าพเจ้าและนักศึกษาเดซีจากประเทศไทยทุกคนได้นัดเพื่อเข้าพบกับท่านกงสุลคุณสเตฟานในตอนบ่าย ดังนั้นข้าพเจ้าจึงรีบเข้าที่ทำงานตั้งแต่เช้าเพื่อไปดูคอมพิวเตอร์ของข้าพเจ้าว่าสามารถใช้งานได้หรือเปล่า ผลก็คือยังไม่ได้ ดังนั้นข้าพเจ้าจึงไปบอก Paolo ให้มาช่วยดูความผิดปกติที่เกิดขึ้น โดย Paolo บอกว่าต้องให้คนที่เขารู้จักมาซ่อมให้ แต่ปรากฏว่าในวันนี้เขาไม่อยู่ ดังนั้นข้าพเจ้าจึงต้องไปใช้คอมพิวเตอร์ของ Rafael แทน ซึ่งก็ไม่น่าจะมีปัญหาเพราะ Rafael ไม่ค่อยเข้ามาที่ห้องนี้อยู่แล้ว ข้าพเจ้ารีบส่งข้อมูลให้ Paolo เพื่อพิจารณาแต่ดูเหมือนเขาจะไม่ตื่นเต้นมากนัก โดยในตอนบ่ายข้าพเจ้าและโบนัทเดินทางจากเดซีเข้าไปในตัวเมืองด้วยรถโดยสารเพื่อไปนัดเจอกับพีเล็ก น้องเจมส์ และพีจ่อมพจน์ที่กำลังเดินทางมาจากเมืองอื่นๆ หลังจากที่พวกเราเจอกันแล้วก็ไปพบท่านกงสุลตามเวลานัดคือ 15:00 น. ท่านใจดีมากและได้เลี้ยงกาแฟพวกเราทุกคนและคุณสเตฟานบอกว่าจะนัดรับประทานอาหารกับพวกเราอีกครั้งแต่น่าเสียดายที่ไม่มีใครว่างเลยนอกจากข้าพเจ้าและโบนัท ดังนั้นท่านจึงทำการนัดเราแค่เพียง





2 คน ในวันจันทร์หน้า หลังจากได้กล่าวลาคุณสเตฟานเรียบร้อยแล้ว ข้าพเจ้าและบอนท์ก็พาพี่เล็กและน้องเจมส์ไปเดินเล่นชมเมืองฮัมบูร์กสักพักจากนั้นจึงไปส่งทั้งสองคนเพื่อเดินทางกลับไปยังเมืองชอยเรนที่สถานีรถไฟ หลังจากนั้นข้าพเจ้าบอนท์และพี่จอมพจนก็ได้กลับไปทีเดซีเพื่อนั่งคุยกันต่อสักพัก โดยวันนี้พี่จอมพจนมาค้างคืนอยู่ที่ห้องของข้าพเจ้า

## วันอังคารที่ 22 สิงหาคม 2560

วันนี้ข้าพเจ้าได้รับคำแนะนำมาจาก Hannes ว่าให้ลองเริ่มต้นหาฟังก์ชันจากการนำฟังก์ชันเลขยกกำลังอันเดิมมาดัดแปลง ซึ่งข้าพเจ้าก็ได้ลองทำตาม พบว่าผลการพิตข้อมูลดีขึ้นเพียงเล็กน้อย และ Paolo บอกว่าในสัปดาห์หน้าจะเริ่มมีการนำเสนอผลงานเพื่อรายงานผลลัพธ์ที่ได้ทั้งหมดจากกิจกรรมฤดูร้อนในครั้งนี้ ซึ่งส่วนตัวข้าพเจ้ายังแทบไม่ได้อะไรคืบหน้าเลย เพราะ Paolo ก็ยังส่งข้อมูลใหม่ๆมาให้วิเคราะห์ตลอดเวลาเนื่องจากข้อมูลเดิมมีความผิดพลาดในบางจุด ดังนั้นฟังก์ชันที่ข้าพเจ้าใช้จึงเปลี่ยนไปตามจุดข้อมูลที่เปลี่ยนแปลง

## วันพุธที่ 23 สิงหาคม 2560

Paolo บอกกับข้าพเจ้าว่าให้นำผลลัพธ์ที่ได้ทั้งหมดในตอนนี้เป็นข้อมูลในการนำเสนอไปก่อน ดังนั้นในช่วงนี้ข้าพเจ้าจึงยุ่งอยู่กับการเตรียมงานนำเสนอ แต่ก็ยังไม่พลาดที่จะไปเล่นกีฬาบาสเก็ตบอลกับเพื่อนๆเช่นเคย

## วันพฤหัสบดีที่ 24 สิงหาคม 2560

ข้าพเจ้าได้พบเจอกับนักศึกษาฤดูร้อนเดซีจากเมืองชอยเรนทุกคนในวันนี้ซึ่งรวมไปถึงพี่เล็กและน้องเจมส์ด้วย โดยในเย็นวันนี้จะมีงานเลี้ยงต้อนรับนักศึกษาเดซีจากทั้งสองเมืองอย่างเป็นทางการ และยังมีกิจกรรมแนะแนวการศึกษาและโอกาสในการเข้ามาทำงานที่ DESY ซึ่งเป็นงานเลี้ยงอาหารและเครื่องดื่มแบบบุฟเฟ่ต์อีกเช่นเคย แต่สิ่งที่เปลี่ยนไปคือทุกคนสนิทกันมากขึ้น บรรยากาศโดยรวมจึงเต็มไปด้วยความสนุกสนานรื่นเริงจึงทำให้กว่าจะเลิกจากกิจกรรมในวันนี้ก็เป็นเวลาที่ตึกมาก ๆ

## วันศุกร์ที่ 25 สิงหาคม 2560

ในวันนี้มีการเรียนการสอนตั้งแต่เช้าตรู่ในรายวิชา Astroparticle physics ซึ่งในวันนี้จะเป็นครั้งแรกที่นักศึกษาฤดูร้อนจากเมืองชอยเรนจะมาเข้าร่วมฟังด้วย และคงเป็นเพราะว่ากิจกรรมเมื่อคืนนั้นทำให้ทุกคนเข้านอนดึก ในวันนี้จึงมีคนที่มาเข้าเรียนวันนี้มีจำนวนน้อยมาก แต่ไม่ใช่กับนักเรียนจากเมืองชอยเรน พวกเขาพากันแทบทุกคนยิ่งไปกว่านั้นยังหน้าแถวหน้าอีกด้วย จึงเป็นสิ่งที่นำไปพูดได้อย่างตลกขบขันในความแตกต่างระหว่างนักเรียนจากทั้งสองเมืองนี้

## วันเสาร์ที่ 26 สิงหาคม 2560

ในวันนี้ข้าพเจ้ารีบตื่นตั้งแต่เช้าเพื่อไปสอบภาษาอังกฤษ ซึ่งสถานที่สอบนั้นอยู่ที่เดิม ข้าพเจ้าจึงสามารถไปได้ ง่ายง่ายดาย และในตอนบ่ายข้าพเจ้าได้เข้าไปพบกับพี่สาวชาวเยอรมันของข้าพเจ้าที่ชื่อ Cordy ซึ่งเป็นคนที่เคย มาแลกเปลี่ยนวัฒนธรรมและมาอาศัยอยู่ที่บ้านของข้าพเจ้าเป็นเวลา 1 ปี เมื่อหลายปีที่แล้ว ซึ่งเธออาศัยอยู่ที่ Dresden แต่แวะมาเที่ยวกับแฟนหนุ่มของเธอที่เมืองฮัมบูร์กจึงทำให้เราได้เจอกัน และเธอได้เชิญข้าพเจ้าไปเยี่ยม ชมบ้านเกิดของเธอในสัปดาห์หน้าอีกด้วย เราใช้เวลาเที่ยวชมเมืองด้วยกันจนถึงเวลา 19:00 น. ข้าพเจ้าจึงขอแยก ตัวไปหาโบนัท พี่เล็ก และน้องเจมส์ ซึ่งในวันนี้ได้มีน้องจากโครงการ GSI มาเยี่ยมด้วย จึงทำให้เราตอนนี้เราเป็น นักศึกษาไทย 5 คนกำลังไปเที่ยวชมเมืองกัน เรานัดเจอกันที่เทศกาลสวนสนุกที่ข้าพเจ้าเคยไปมาแล้วกับเพื่อนต่าง ชาติ หลังจากนั้นเราก็ไปนั่งเล่นกันจนตึกแล้วจึงแยกย้ายกันกลับบ้านที่พัก

## วันอาทิตย์ที่ 27 สิงหาคม 2560

นักศึกษาจากเมืองซอเรนจะเดินทางกลับกันในวันนี้ และข้าพเจ้าได้ทราบมาจากพี่จอมพจน์ว่าในทุกๆวัน อาทิตย์ที่ร้านอาหารเดซีจะมีอาหารบุฟเฟ่ต์ให้บริการ ข้าพเจ้าอยู่มาเกือบ 2 เดือนแล้วแต่กลับไม่ทราบเรื่องนี้เลย ดังนั้นพวกเรานักศึกษาไทยจึงนัดกันมาทานอาหารมื้อเช้ากันที่นี่ หลังจากนั้นข้าพเจ้าและโบนัทก็ได้รู้ว่าพี่เล็กและ น้องเจมส์และขอให้เดินทางปลอดภัย และข้าพเจ้าก็แยกตัวไปที่ห้องทำงานเพื่อทำงานต่อถึงแม้จะเป็นวันอาทิตย์ ก็ตาม และที่น่าต๊ะลิ่งก็คือ ข้าพเจ้าพบ Arathi มาทำงานเช่นกันในวันนี้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเวลาของเรามีไม่มากแล้ว กับงานที่เหลืออยู่

## วันจันทร์ที่ 28 สิงหาคม 2560

ข้าพเจ้ามีนัดต้องนำเสนอกับกลุ่มวิจัยย่อยของ Paolo ในตอนเย็น ข้าพเจ้าได้ส่งงานนำเสนอไปให้ Paolo ตรวจสอบในตอนเช้าและพบว่าไม่มีอะไรต้องแก้ไขแล้ว ดังนั้นข้าพเจ้าจึงซ้อมการนำเสนอตลอดทั้งวัน และพอถึง เวลาที่ข้าพเจ้าต้องนำเสนอข้าพเจ้าพบว่า Paolo กำลังประชุมอยู่กับเพื่อนนักวิจัยมากมายผ่านการเชื่อมต่อวิดีโอ ที่ อยู่ต่างเมืองกันหรือบางที่อาจจะอยู่ต่างประเทศก็เป็นได้ และนี่เป็นครั้งแรกที่ข้าพเจ้าได้เห็นวิถีชีวิตการทำงานของ นักวิจัยระดับแนวหน้าอย่างแท้จริง และแม้ว่าข้าพเจ้าจะสังเกตบุคคลเหล่านั้นผ่านวิดีโอ แต่ข้าพเจ้าก็เห็นถึงความ ตั้งใจของคนที่มีความสนใจในเรื่องเดียวกันมาทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบโดยที่ระยะทางไม่เป็นปัญหาเลยแม้แต่น้อย หลังจากนั้นข้าพเจ้าก็ได้มีโอกาสนำเสนอผลงานต่อหน้าบุคคลเหล่านั้นผ่านการสื่อสารทางวิดีโอและได้รับข้อเสนอแนะมากมาย ซึ่งข้าพเจ้าคิดว่าวันนี้เป็นวันที่สุดยอดเยี่ยม และในตอนค่ำวันนี้ข้าพเจ้าและโบนัทได้มีนัดทาน อาหารกับคุณสเตฟาน โดยเราไปทานอาหารเยอรมันกันในย่านใจกลางเมืองฮัมบูร์ก คุณสเตฟานใจดีมากเช่นเคย และข้าพเจ้ารู้สึกเป็นเกียรติอย่างมากเพราะนอกจากท่านจะเลี้ยงอาหารมื้อนี้กับพวกเราแล้ว ท่านยังเสียสละเวลา พาเราไปเยี่ยมชมเมืองต่ออีกด้วย

## วันอังคารที่ 29 สิงหาคม 2560

Paolo ได้ มาบอกกับข้าพเจ้าว่าข้อมูลที่เข้ามาก่อนหน้านี้อาจมีบางจุดที่ไม่ถูกต้องซึ่งเป็นไปตามที่ข้าพเจ้าคิดไว้ตั้งแต่ต้น นั่นแปลว่าฟังก์ชันที่ข้าพเจ้าคิดมาทั้งหมดนั้นแทบไม่มีความถูกต้องอยู่เลย ข้าพเจ้าก็ได้แต่คิดในใจว่า “แล้วข้อมูลที่เรานำเสนอไปเมื่อวานนี้ต่อหน้านักวิจัยทั้งหลายเหล่านั้นล่ะ” ซึ่งเขาบอกว่าจะรีบส่งข้อมูลที่ถูกต้องมาให้ ซึ่งในตอนนี้อยู่เวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลที่จะมาถึงนั้นแทบไม่เหลือแล้ว เพราะในวันศุกร์จะเป็นวันที่ข้าพเจ้าจะต้องนำเสนองานชิ้นนี้ต่อหน้าบุคลากรและนักศึกษาฤดูร้อนในกลุ่ม CMS ทุกคน และข้าพเจ้าก็ต้องขอมนำเสนอ กับ Hannes และเพื่อนๆในกลุ่มภายในวันพุธอีกด้วย ข้าพเจ้าก็เลยไปว่านั่น Paolo บอกว่าเขาจะไม่อยู่เป็นเวลา 2 สัปดาห์เริ่มตั้งแต่สัปดาห์หน้า เพราะครั้งนี้เขาจะลายาวไปเที่ยวบาทลีกับครอบครัว ซึ่งทำให้ Hannes จะเป็นคนที่ดูแลเรื่องเล่มรายงานของข้าพเจ้าแทน นั่นแปลว่าในวันที่เหลือไม่กี่วันนี้ข้าพเจ้าจะต้องรีบหาฟังก์ชันปริศนาให้เจอ

## วันพุธที่ 30 สิงหาคม 2560

ข้าพเจ้ายุ่งอยู่กับการขอมนำเสนอครั้งใหญ่ ผนวกกับว่าข้อมูลจาก Paolo ยังมาไม่ถึง ดังนั้นข้าพเจ้าจึงไม่มีอะไรให้แก่มากมายจากข้อมูลการนำเสนอครั้งก่อน ข้าพเจ้าจึงใช้ข้อมูลเดิมในการนำเสนอ เมื่อถึงเวลาชอมต่อหน้า Rafael, Luis, Arathi รวมทั้ง Hannes ข้าพเจ้าก็พบว่างานของเพื่อนๆก็ยังไม่สมบูรณ์นัก นั่นแปลว่าทุกคนมีเวลาแค่พรุ่งนี้ในการแก้ไขให้ถูกต้อง พร้อมกันนั้น Hannes ยังได้นัดพวกเราไปกินเลี้ยงอีกครั้งเพื่อเป็นการอำลาอย่างเป็นทางการในสัปดาห์หน้าอีกด้วย

## วันพฤหัสบดีที่ 31 สิงหาคม 2560

วันนี้ข้าพเจ้าได้ข้อมูลมาแล้ว และจากการพิจารณาในเบื้องต้นจุดข้อมูลมีความปะติดปะต่อกันได้อย่างดี ซึ่งบอกเป็นนัยว่าข้อมูลชุดนี้น่าจะถูกต้องแล้ว ข้าพเจ้าใช้เวลาตลอดทั้งวันในการหาฟังก์ชันที่ดีที่สุดที่จะพิตกับข้อมูลชุดนี้พร้อมกับการแก้ไขข้อมูลที่จะต้องนำเสนอของจริงต่อหน้าทุกคนในวันพรุ่งนี้ จนเวลาล่วงเลยถึง 01:00 น. ของอีกวันหนึ่ง ซึ่งโชคดีที่ Arathi ยังคงนั่งทำงานอยู่กับข้าพเจ้าจึงทำให้บรรยากาศไม่วังเวง

## วันศุกร์ที่ 1 กันยายน 2560

ข้าพเจ้าได้ลำดับในการนำเสนอเป็นคนสุดท้ายของช่วงเช้า นักศึกษาในกลุ่ม CMS ที่จะนำเสนอในวันนี้มีประมาณ 20 คน งานของทุกคนนั้นดูมีประโยชน์ทุกชิ้น ซึ่งวัตถุประสงค์ของการนำเสนอในวันนี้ก็เพราะว่าในกลุ่ม CMS จะต้องคัดเลือกนักศึกษาเพียงแค่ 4 คนเพื่อเป็นตัวแทนไปนำเสนอในวันนำเสนอรวมวันสุดท้าย การนำเสนอของข้าพเจ้าผ่านไปได้ดีด้วยดี และหนึ่งในคนที่ถูกเลือกให้เป็นตัวแทนไปนำเสนอในวันสุดท้ายก็คือ Max เพื่อนสนิทของข้าพเจ้า และเนื่องจากวันนี้จะเป็นวันสุดท้ายที่ข้าพเจ้าจะได้พบเจอกับ Paolo และจะไม่มีโอกาสอีกแล้วในค่ายนี้ ข้าพเจ้าจึงได้รำลา Paolo พร้อมกับขอบคุณที่เขาดูแลข้าพเจ้าเป็นอย่างดี

นอกจากนี้ในช่วงเย็นข้าพเจ้าจะต้องเดินทางไปที่ Dresden ซึ่งเป็นบ้านของพี่สาว Cordy ดังนั้นข้าพเจ้าจึงต้องรีบเดินทางไปรอขึ้นรถในตัวเมืองฮัมบูร์ก โดยเมื่อพบเจอกับพี่สาวเป็นที่เรียบร้อย เธอก็พาไปทานอาหารเย็นที่บ้านซึ่งเป็นบ้านที่ข้าพเจ้าจะค้างคืนเป็นเวลาอีก 2 วันต่อจากนี้ โดยในตอนค่ำเธอก็ยังพาข้าพเจ้าไปเดินชมรอบหมู่บ้านที่เธออาศัยอยู่ ซึ่งเป็นเมืองเล็กๆที่มีชาวบ้านไม่กี่ร้อยคนเท่านั้น

### วันเสาร์ที่ 2 กันยายน 2560

วันนี้ Cordy และแฟนหนุ่มของเธอพาข้าพเจ้าไปเที่ยวชมเมือง Dresden ที่แห่งนี้ก็เป็นอีกเมืองหนึ่งที่ได้เต็มไปด้วยประวัติศาสตร์มากมาย ซึ่งเธอพาข้าพเจ้าไปชมโบสถ์หรืออาคารที่พังเสียหายจากสงคราม เมื่อกลับถึงบ้านในตอนเย็นข้าพเจ้าก็ได้พบพ่อและแม่ของ Cordy ร่วมกันเป็นครั้งแรก ซึ่งพวกเขาได้มีงานเลี้ยงต้อนรับข้าพเจ้า ข้าพเจ้ารู้สึกดีใจเป็นอย่างมาก บรรยากาศเต็มไปด้วยความสุขและหนาวเย็น แต่ก็เพราะเราทำอาหารประเภทแป้งย่าง จึงทำให้ได้รับไออุ่นไปพร้อมๆกัน



### วันอาทิตย์ที่ 3 กันยายน 2560

ในวันนี้ Cordy กับพ่อแม่ของเธอได้พาข้าพเจ้าไปเที่ยวชมอีกเมืองหนึ่งที่อยู่ใกล้ๆชายแดนระหว่างประเทศเยอรมนีกับสาธารณรัฐเช็ก ที่แรกที่เราไปก็คือแม่น้ำ Bad Schandau ซึ่งแม่น้ำนี้เคยทำให้เกิดน้ำท่วมใหญ่แก่บ้านเรือนประชาชนในบริเวณใกล้เคียงมาแล้วหลายครั้ง โดยแต่ละครั้งก็จะทิ้งรอยไว้บนอาคารและบางคนก็จะเอาปากกามาเขียนไว้ว่าแต่ละรอยเกิดขึ้นในปีอะไร ต่อมาก็ไปยังป้อมปราการ Königstein และตอนเย็นก็ไปที่อุทยานแห่งชาติ Sächsische Schweiz หลังจากนั้นครอบครัวของ Cordi ก็ได้ไปส่งข้าพเจ้าขึ้นรถเพื่อกลับไปยังฮัมบูร์ก และข้าพเจ้าก็ถึงยังเดซีในเวลาห้าทุ่ม



## วันจันทร์ที่ 4 และวันอังคารที่ 5 กันยายน 2560

ในวันที่เหลือข้าพเจ้าก็พยายามทำเล่มรายงานให้เสร็จและส่งให้ Hannes ตรวจสอบเป็นระยะ ซึ่งก็ใช้เวลาจนถึงตีเป็นเวลาหลายวันและถ้าหากข้าพเจ้าทำเสร็จได้ทัน ข้าพเจ้ากับโบนัทก็มีแผนที่จะใช้ตัวรถไฟที่ยังมีเหลือไปยังกรุงเบอร์ลินในวันพุธ ซึ่งปรากฏว่าข้าพเจ้าทำเสร็จได้ทันเวลา

## วันพุธที่ 6 กันยายน 2560

ข้าพเจ้าและโบนัทต้องตื่นแต่เช้าเพื่อเตรียมเดินทางไปยังกรุงเบอร์ลิน เมื่อเราไปถึงโบนัทขึ้นชอปปานีรถไฟที่กรุงเบอร์ลินมาก พวกเราวางแผนว่าจะเที่ยวเบอร์ลินเพียงแค่วันหนึ่งและเดินทางกลับในช่วงเย็นเพราะว่าข้าพเจ้านั้นมีนัดกินเลี้ยงกลุ่มวิจัยกับ Hannes ข้าพเจ้าและโบนัทไปถ่ายรูปตามจุดท่องเที่ยวต่างๆที่สำคัญภายในกรุง



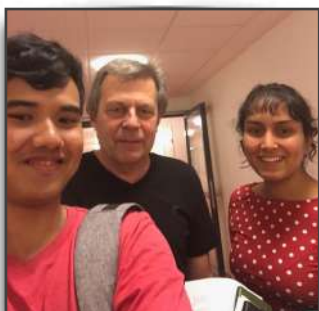
เบอร์ลิน ซึ่งสภาพอากาศในที่นี้ค่อนข้างคาดเดาได้ยากซึ่งก็ไม่ต่างอะไรกับที่เมืองฮัมบูร์กเลย เมื่อ

เราเดินทางกลับฮัมบูร์ก ข้าพเจ้าได้แยกทางกับโบนัทที่สถานีรถไฟ และข้าพเจ้าก็เดินทางต่อไปยังร้านอาหารที่ Hannes ได้ทำการจองไว้ วันนี้เรามารับประทานอาหารกรีกซึ่งข้าพเจ้าแทบจะทานไม่ได้เพราะมันไม่ถูกปากเป็นอย่างมาก และเช่นเคย Hannes ยังคงให้เราจ่ายค่าอาหารเพียงแค่ 5 ยูโร



## วันพฤหัสบดีที่ 7 กันยายน 2560

วันนี้เป็นวันสุดท้ายของกิจกรรมค่ายฤดูร้อนตามกำหนดการ และเป็นวันที่จะมีการนำเสนอผลงานจากตัวแทนที่ได้รับคัดเลือก และเป็นวันที่ทุกคนจะต้องทำการคืนกุญแจห้องทำงานและจัดการเรื่องเอกสารต่างๆให้เรียบร้อย ข้าพเจ้าสัมผัสได้ถึงความใจหายของเพื่อนแต่ละคนเพราะการจากลากำลังจะมาถึง การนำเสนอผลงานเสร็จภายในบ่าย 2 ข้าพเจ้าได้แอบถ่ายรูป Max ตอนกำลังนำเสนอไว้ด้วย โดยในระหว่างที่มีการพักเบรก ข้าพเจ้าและโบนัททยอยนำของฝากจากประเทศไทยไปให้ผู้ดูแลโครงการแต่ละท่าน หลังจากที่มีพิธีปิดอย่างเป็นทางการ ข้าพเจ้ายังคงเห็นใบหน้าปนความเศร้าของเพื่อนแต่ละคน โดยส่วนใหญ่แล้วเพื่อนๆก็จะเดินทางกลับกันในวันพรุ่งนี้



ดังนั้นพวกเราจึงมีแผนที่จะออกไปเที่ยวด้วยกันเป็นครั้งสุดท้ายและอาจกินเวลานานถึงเช้าของอีกวันหนึ่ง ถึงแม้เวลาในการเดินทางออกจากเดซีของข้าพเจ้าในวันพรุ่งนี้จะป็นตอนเช้าตรู่ แต่มันก็ไม่สามารถทำให้ความอยากไปเที่ยวกับเพื่อนในครั้งสุดท้ายนี้ลดน้อยลงเลย แม้ข้าพเจ้าจะไม่ได้นอนก็ไม่เป็นไร ในช่วงเย็นข้าพเจ้าก็ไปรำลา Hannes และนักวิจัยท่านต่างๆและได้ถ่ายรูปข้าพเจ้า Hannes และ Arathi เก็บไว้ด้วย ข้าพเจ้ารู้สึกโชคดีมากที่ได้มีโอกาสมาฝึกงานกับบุคคลเหล่านี้

และข้าพเจ้าก็รีบไปจัดกระเป๋าเพราะไม่น่าจะมีเวลาอื่นให้ข้าพเจ้าได้จัดอีกแล้ว จากนั้นในช่วงค่ำเพื่อนๆก็เริ่มมารวมตัวกันที่ห้องรับประทานอาหารภายในหอพักอย่างที่เคยทำ แต่วันนี้ทุกคนมาพร้อมหน้าจนทำให้ที่นั่งในห้องนั้นไม่พอ พวกเราจึงตัดสินใจนั่งพื้นกัน เราเล่นเกมต่างๆอย่างที่เคยเล่นและยังคงเต็มไปด้วยความสนุกสนาน และในช่วงดึกเราก็ออกไปเดินเล่นกันในตัวเมืองและมีการนั่งเรือเฟอร์รี่ทิ้งท้าย พวกเรากลับมาถึงเดซีในเวลา 7 โมง



เช้า พอมาถึงหอพักไม่มีใครอยากเข้าไปนอนสักคน ทุกคนยืนกอดกันพร้อมกับการจากลาอย่างเป็นทางการกับเพื่อนบางคนที่ต้องเดินทางกลับ เพื่อนผู้หญิงก็ต่างร้องไห้ ข้าพเจ้าได้นำของฝากจากบ้านเกิดมามอบให้เพื่อนๆในช่วงเวลาจากลาตอนนี้ด้วย



### วันศุกร์ที่ 8 กันยายน 2560

ข้าพเจ้าและโบนัทจะต้องเดินทางออกจากเดซีในเวลา 08:20 น. จึงทำให้ข้าพเจ้าเป็นคนแรกที่ต้องกลับก่อนเพื่อนทุกคน พวกเราจำลองกันจนทำให้เกือบพลาดรถไฟ และเนื่องจากเที่ยวบินกลับประเทศไทยของเรานั้นจะต้องไปขึ้นที่กรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศสในวันมะรืนนี้ ดังนั้นในวันนี้พวกเราก็เดินทางเพื่อจะไปขึ้นรถบัสที่เมือง dusseldorf และโบนัทก็ได้นัดพี่จอมพจน์และรุ่นน้องโครงการ GSI มาเจอกันที่เมืองนี้เพื่อเที่ยวชมเมืองและรับประทานอาหารด้วยกัน จากนั้นข้าพเจ้าและโบนัทก็ขึ้นรถบัสในเวลาประมาณ 4 ทุ่ม และจะไปถึงกรุงปารีสในตอนเช้าของวันถัดไป



### วันเสาร์ที่ 9 กันยายน 2560

พวกเราตื่นขึ้นมาจากการหลับมาบนรถตลอดทางและพบว่าเรานั้นได้ถึงกรุงปารีสเรียบร้อยแล้ว พวกเรามุ่งตรงไปยังโรงแรมที่ได้ทำการจองไว้ เพราะว่าเราต้องนอนที่นั่นคืนหนึ่ง เมื่อเราฝากกระเป๋าเรียบร้อยแล้ว พวกเราก็ไปเยี่ยมชมเมืองตามจุดสำคัญต่างๆ และยังได้รับประทานอาหารฝรั่งเศสแท้ๆในมือเย็นอีกด้วย

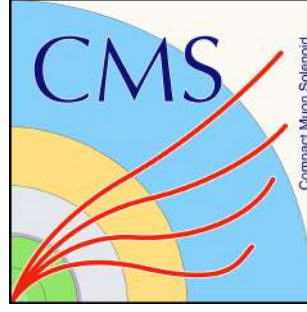


### วันอาทิตย์ที่ 10 กันยายน 2560

วันนี้พวกเราตื่นกันตั้งแต่เช้าเพื่อนั่งรถไฟต่อไปยังสนามบิน Charles de Gaulle เพื่อจะเดินทางกลับสู่ประเทศไทย ซึ่งทุกอย่างเป็นไปด้วยความราบรื่น เมื่อข้าพเจ้าและโบนัทขึ้นเครื่องก็ถือเป็นการสิ้นสุดการผจญภัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณโครงการนี้ที่ทำให้ข้าพเจ้าได้รู้จักและเรียนรู้สิ่งต่างๆมากมาย



ภาคผนวก



# Energy Dependence of $p_T^0$ in Pythia8

Rachalis Maharucksit

Physics Department, Khon Kaen University, Khonkaen, Thailand

Supervised by:

Hannes Jung and Paolo Gunnellini

Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY), Hamburg

September 6, 2017

**Abstract:** The problem of divergence of the interaction cross section at low transverse momentum ( $p_T$ ) in hard processes is very well known because the cross section is inverse proportional to  $p_T^2$ . The complementary way to deal with it is to introduce a free parameter, called  $p_T^0$ , by simply adding it to the denominator to prevent the zero value to occur.  $p_T^0$  turns out to be energy-dependent of which the more precise relation will yield the more accurate of predictions in Pythia event generator. The current relation implemented in Pythia8 is a power relation described by 2 parameters ( $p_T^0 = aE^b$ ). Other possible relations which better fit with data, using 2 or 3 parameters, are investigated in this work. It is showed that we can actually improve the relation. Most of the functions which have been found to be better fit are composed of the power term. Modifications of the default function also yields better result.



## Acknowledgments

I would like to thank my supervisors: Hannes Jung and Paolo Gunnellini for giving me a chance to learn many new things from the group. Their warm welcome, their encouragement and the way they took care of me and my friends in the group eliminated all my worries about work that I have to deal with. Paolo always make everything sound interesting that somehow impressed me. Although it was just two months, the whole experiences that I got from them is invaluable. Furthermore, I would like to thank Maximilian We who often waited to have lunch and have a break with me. And thanks to Arathi Ramesh who stayed working in the office with me until night many times. It was a fascinating summer school for me at DESY to have an opportunity to know many people across the globe — thank you to this program. And special thanks to Olaf Behnke who provided every kind of comfortabilities, conveniences and entertainments , and suggested many trips for us. I would absolutely suggest this program to others to let them know how cool this program is!

# 1 Introduction

In hadron-hadron collisions ( $p\bar{p}$  collisions in Tevatron and  $pp$  collisions in LHC), the differential parton-level cross section which describes hard scattering or multiparton interaction(MPI)[1], can be written as a function of  $p_T^2$  :

$$\frac{d\hat{\sigma}}{dp_T^2} = \frac{8\pi\alpha_s^2(p_T^2)}{9p_T^4} . \quad (1)$$

For constant  $\alpha_s$  , after integrating (1), we will obtain:

$$\hat{\sigma} \propto \frac{1}{p_T^2} . \quad (2)$$

It can cause a problem when  $p_T$  is very small; the cross section will be infinitely large. Moreover, it actually does not fit very well with the observable data in the small- $p_T$  region. One way to regularize this problem is to multiply equation (1) by the following factor

$$\frac{\alpha_s^2 \left( p_T^2 + (p_T^0)^2 \right)}{\alpha_s^2(p_T^2)} \frac{p_T^4}{\left( p_T^2 + (p_T^0)^2 \right)^2} . \quad (3)$$

After regularizing, equation (1) will be changed to:

$$\frac{d\hat{\sigma}}{dp_T^2} = \frac{8\pi\alpha_s^2(p_T^2 + (p_T^0)^2)}{9 \left( p_T^2 + (p_T^0)^2 \right)^2} . \quad (4)$$

This is responsible for a change in the partonic cross section

$$\hat{\sigma} \propto \frac{1}{\left( p_T^2 + (p_T^0)^2 \right)^2} . \quad (5)$$

The denominator apparently cannot be zero so that the divergence is completely eliminated.  $p_T^0$  serves as a free parameter, which cannot be obtained from first principle, but must be tuned to data. According to CDF and CMS data for different center-of-mass energy, it is found that  $p_T^0$ , which is to be specified as an input for Pythia event generator, that yields a good agreement with those data is energy-dependent. The dependence is believed to be some power of the energy and this power relation is currently used in Pythia8 as a default function. More precisely, the default function can be further described by two additional parameters:  $p_{T,\text{ref}}^0$  and  $E_{\text{pow}}$ .

$$p_T^0 = p_{T,\text{ref}}^0 \left( \frac{E(\text{TeV})}{7} \right)^{E_{\text{pow}}} , \quad (6)$$

where  $p_{T,\text{ref}}^0$  can be seen as a  $p_T^0$  at a reference energy (7 TeV). These parameters can be found from fitting with the data. But there is no guarantee that this function is the correct one; it could be another one. The CDF data (0.3, 0.9 and 1.96 TeV) and CMS data (7 TeV) were formerly used as reference data for fitting. However, there are new data at 13 TeV center-of-mass energy from CMS that can be added to give a more precise value in the two parameters or to make a comparison between the default function and other functions. For the sake of simplicity in this work the following expression is used instead of (6):

$$p_T^0 = aE^b . \quad (7)$$

## 2 Methods

This work is mainly about exploring functions that can be well fitted with the data compared to the default function. But the data themselves have to be explored first. Because  $p_T^0$  is not an observable that can be directly obtained from the experiment, the way to obtain their values will be mentioned in the following section and then the strategy to explore the fitting functions will be discussed.

### 2.1 Investigating $p_T^0$ belonging to each energy

Because of the energy-dependent behavior, each energy has its own  $p_T^0$  value. To find such values, the Pythia8 event generator is used to generate at most 30 predictions, each of which is assigned a different value of  $p_T^0$ . Then a Rivet analysis[2] is employed to analyse the results by creating a histogram. Afterwards, all the predictions are compared to the data using the Professor framework[3]. The aim is to find the value of  $p_T^0$  that makes the prediction look most similar to the data; practically, one looks at the value of  $p_T^0$  that yields the lowest value of  $\chi^2$ . To do so, the interpolation method in Professor is used to make a continuous function of  $\chi^2$  versus  $p_T^0$ , and then the tuning method is used to find the value of  $p_T^0$  that minimizes  $\chi^2$ . By redoing the same process for other energies, one will obtain all values of  $p_T^0$  associated with them. Moreover, we also try to find  $p_T^0$  for other PDF (parton distribution functions) sets other than just leading order (LO) namely next to leading order (NLO) and next to next to leading order (NNLO) PDF sets. Figure 1 is the result after generating 30 predictions and using Rivet analysis to compare to the data of some particular energy and observable.

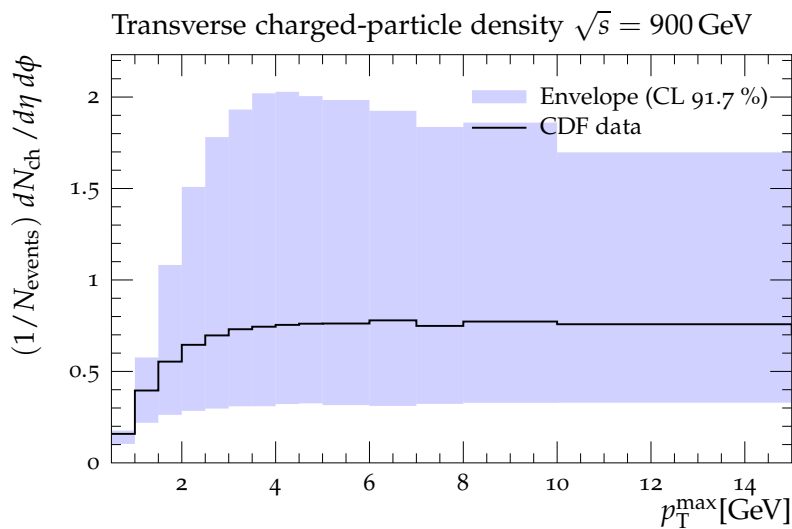


Figure 1: This graph shows the data that are almost covered by the 30 predictions which are generated by Pythia. All predictions have  $p_T^0$  associated with them. It means that the value of  $p_T^0$  which best fits the data exists in this range. And it can be determined by using Professor framework.

## 2.2 Investigating fitting functions

After obtaining the values of  $p_T^0$  for each energy and each PDF sets, the next step is to find fitting functions. We explore any functions within 2-3 parameters that are better fitting with the data than the default one. Again the  $\chi^2$  is the value for comparing the default function to others.

Other than arbitrary functions, starting to modify the default one seems to be easier to work with. Three kinds of modification of (7) are introduced by thinking of the default as being able to multiply by some factor or to be written in perturbative form as in the following:

$$p_T^0 = aE^b f(E; c) \quad , \quad (8)$$

$$p_T^0 = aE^b + g(E; c) \quad , \quad (9)$$

$$p_T^0 = aE^b (1 + h(E; c)) \quad , \quad (10)$$

which will be called f-modification, g-modification and h-modification respectively where  $f(E; c)$ ,  $g(E; c)$  and  $h(E; c)$  are functions (with parameter  $c$ ) to be explored.

## 3 Results

This section will show all the results of our work. First, we will show, for each energy and PDF set, the values of  $p_T^0$  that will be fitted. Then all of the fitting functions will be revealed.

### 3.1 Result from investigating $p_T^0$

Utilizing Professor program, we will obtain all values of  $p_T^0$ . As previously mentioned,  $p_T^0$ 's are determined by looking at the  $\chi^2$  from comparing the generated events to the experimental data. Table 1 illustrates the values of them and their lowest possible values of  $\chi^2$  from a fit belonging to each energy and PDF sets. The energy-dependent of  $p_T^0$  can be obviously seen in figure 2 which will be used as data points for fitting.

energy (TeV)	LO		NLO		NNLO	
	$\chi^2$	$p_T^0$	$\chi^2$	$p_T^0$	$\chi^2$	$p_T^0$
0.3	0.595	$1.535^{+0.024}_{-0.023}$	0.645	$1.437^{+0.022}_{-0.020}$	0.623	$1.425^{+0.022}_{-0.021}$
0.9	0.462	$1.740^{+0.018}_{-0.055}$	0.636	$1.559^{+0.020}_{-0.018}$	0.708	$1.524^{+0.018}_{-0.018}$
1.96	0.506	$1.956^{+0.021}_{-0.021}$	0.172	$1.663^{+0.017}_{-0.016}$	0.525	$1.632^{+0.030}_{-0.027}$
7	0.684	$2.346^{+0.026}_{-0.026}$	0.469	$1.889^{+0.035}_{-0.032}$	1.280	$1.870^{+0.052}_{-0.049}$
13	0.311	$2.571^{+0.020}_{-0.019}$	1.180	$1.958^{+0.028}_{-0.027}$	1.830	$1.939^{+0.029}_{-0.028}$

Table 1: All of the values of  $p_T^0$  and their  $\chi^2$  that indicates how good they fit the experimental data in each energy and PDF sets

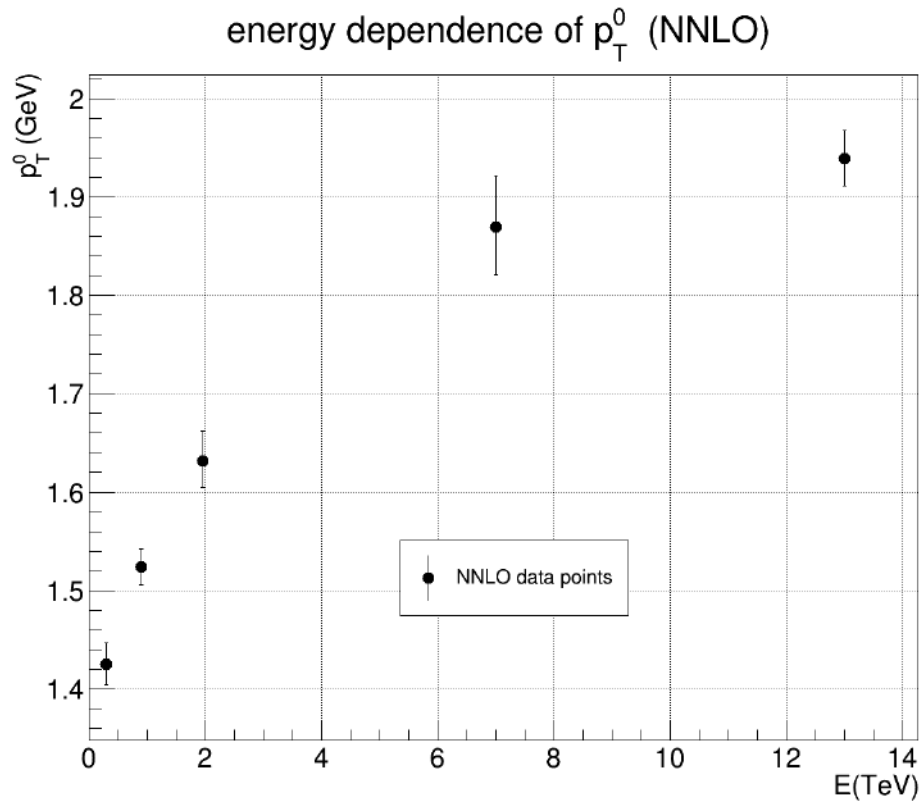
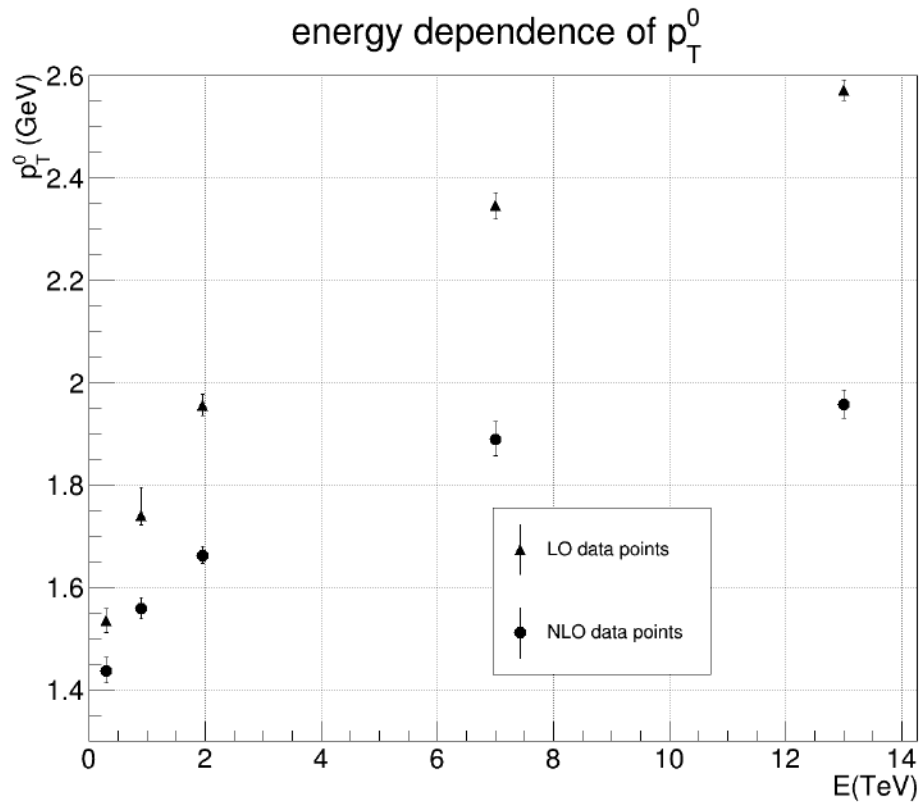


Figure 2: Graph of  $p_T^0$  versus center-of-mass energy in each PDF sets

### 3.2 Result from fitting

To begin with, the behavior of the default function implemented in Pythia8 in fitting the data is illustrated in figure 3. The  $\chi^2$ 's imply that this function does not fit the data very well.

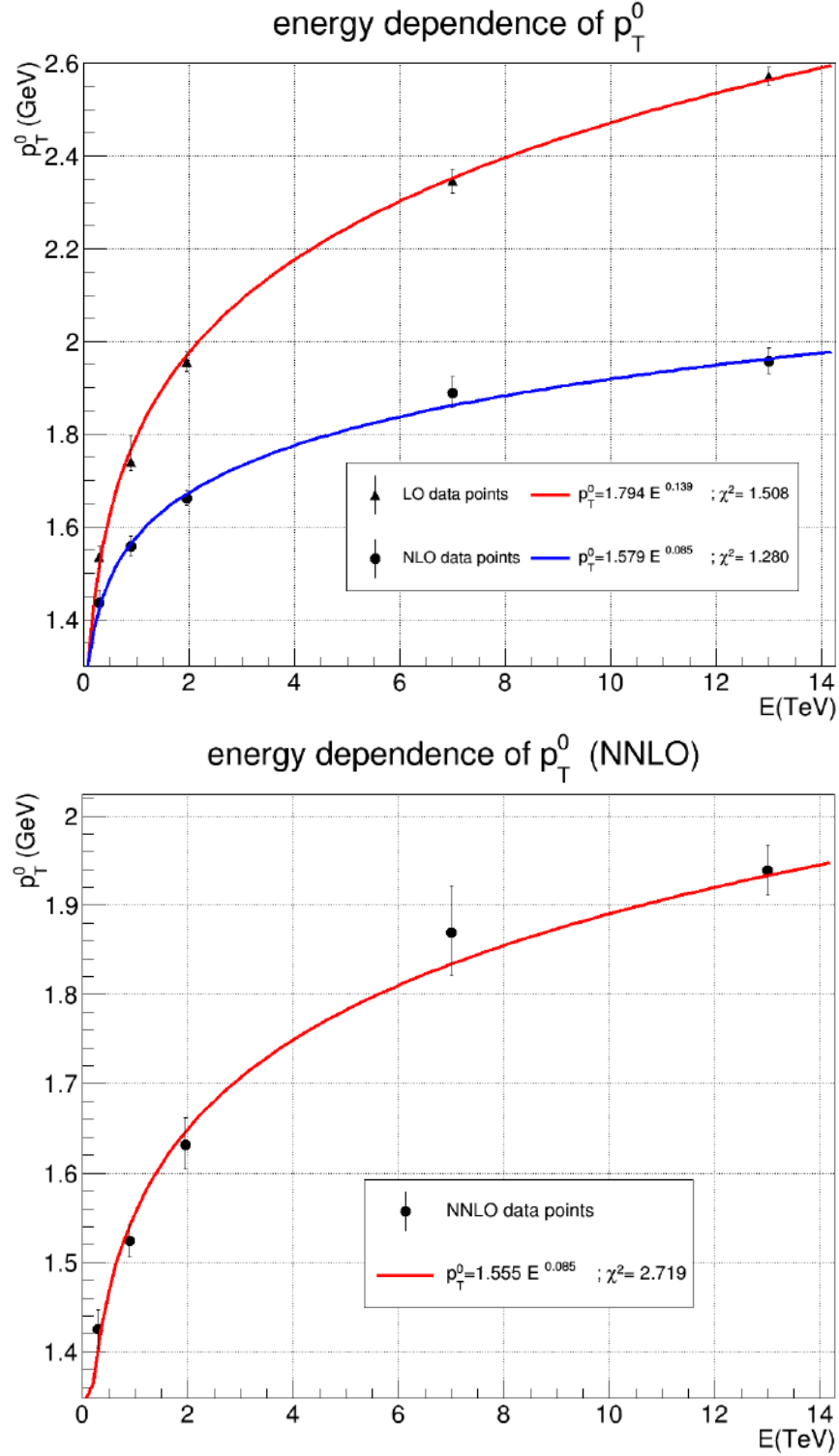


Figure 3: *Fitting curves from the default function*

### 3.2.1 2-parameter function

There is only one function with 2 parameters that gives better fitting result with respect to the default function which is  $p_T^0 = E^a + b$ . The results are demonstrated in figure 4.

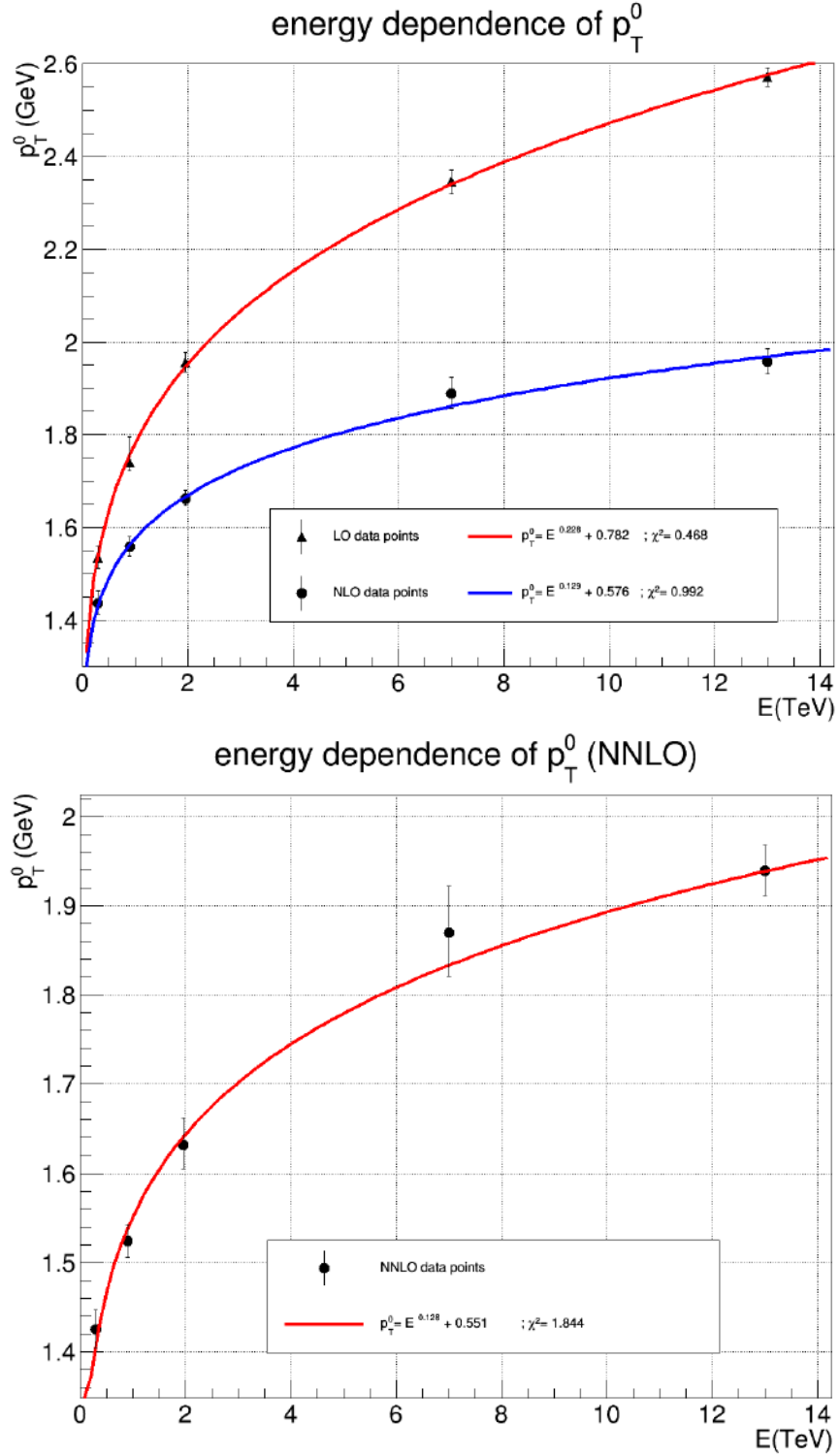


Figure 4: *Fitting curves from two-parameter function:  $p_T^0 = E^a + b$*

### 3.2.2 f-modification

There are 3 functions of  $f(E; c)$  in equation(8) namely  $f(E; c) = \arctan(E + c)$ ,  $f(E; c) = \arctan(E) + c$  and  $f(E; c) = \ln(E) + c$  that result in better fitting which is illustrated in figure 5.

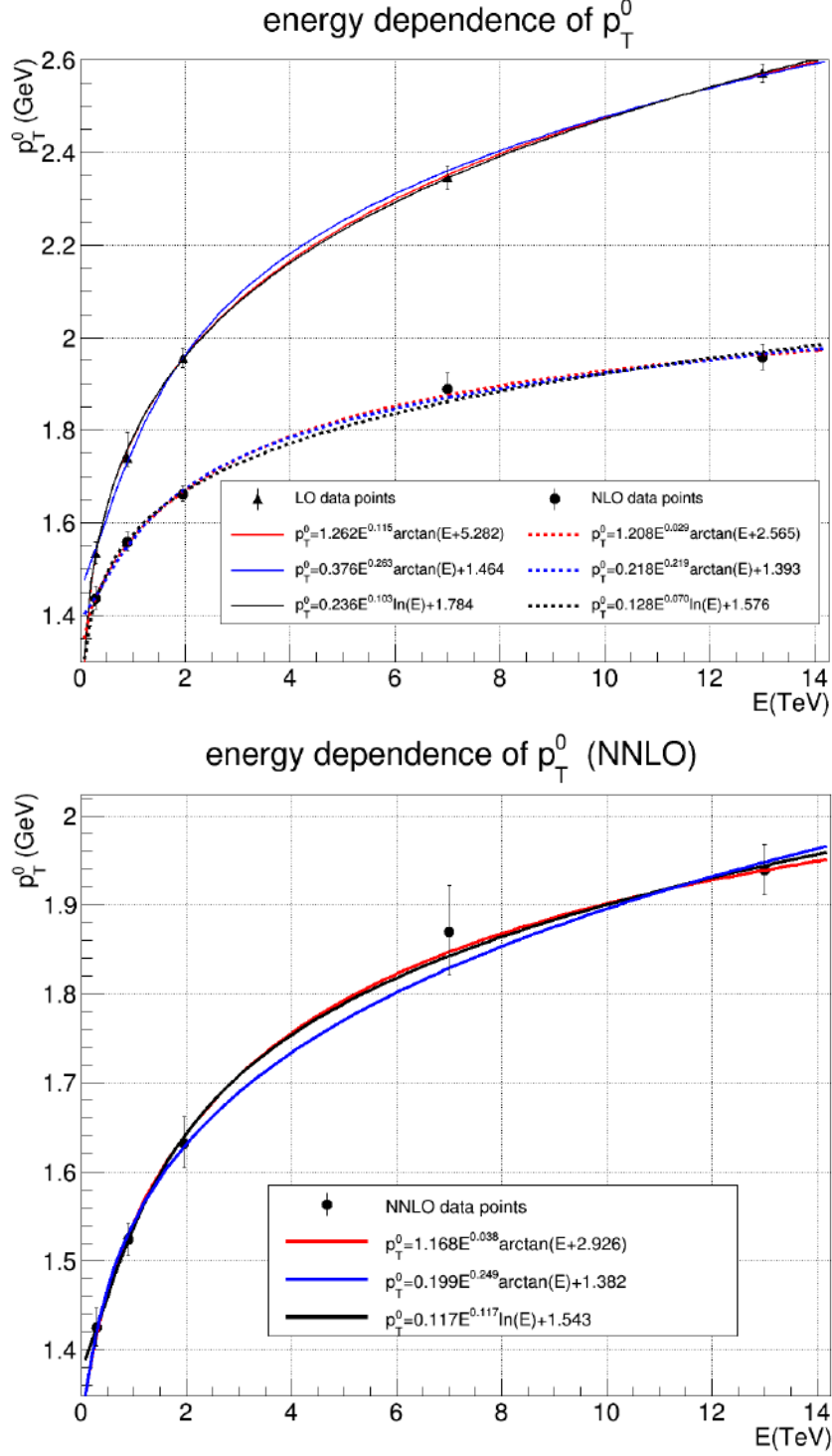


Figure 5: *Fitting curves from f-modification*



### 3.2.3 g-modification

Three functions of  $g(E; c)$  in equation(9) are found to be better than the default function. Those functions are  $g(E; c) = c$ ,  $g(E; c) = 1 + cE$  and  $g(E; c) = 1 + c$  as shown in figure 6.

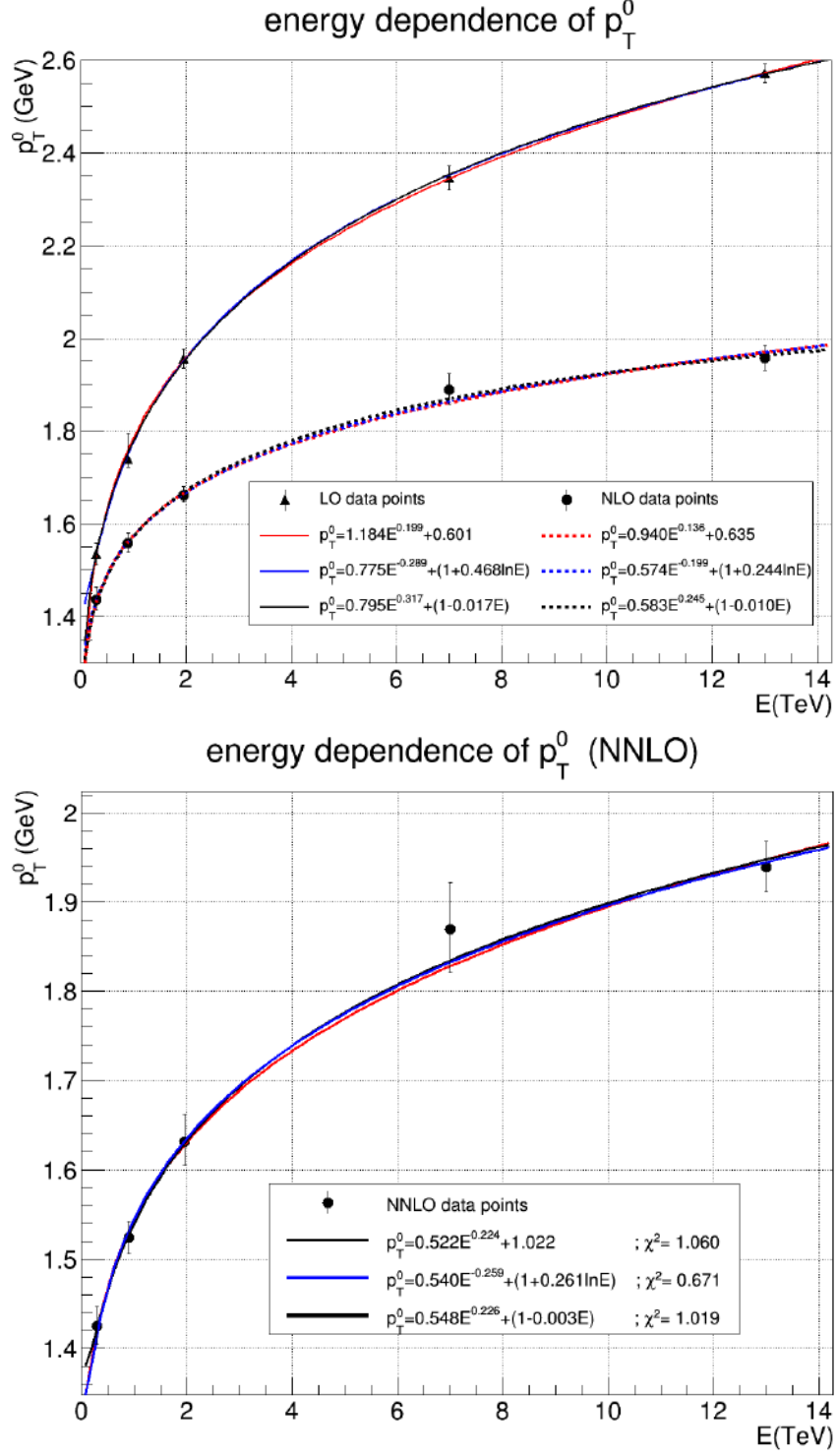


Figure 6: *Fitting curves from g-modification*

### 3.2.4 h-modification

Two functions of  $h(E; c)$  namely  $h(E; c) = 1 + cE$  and  $h(E; c) = 1 + E^c$  are also found to be good as shown in figure 7.

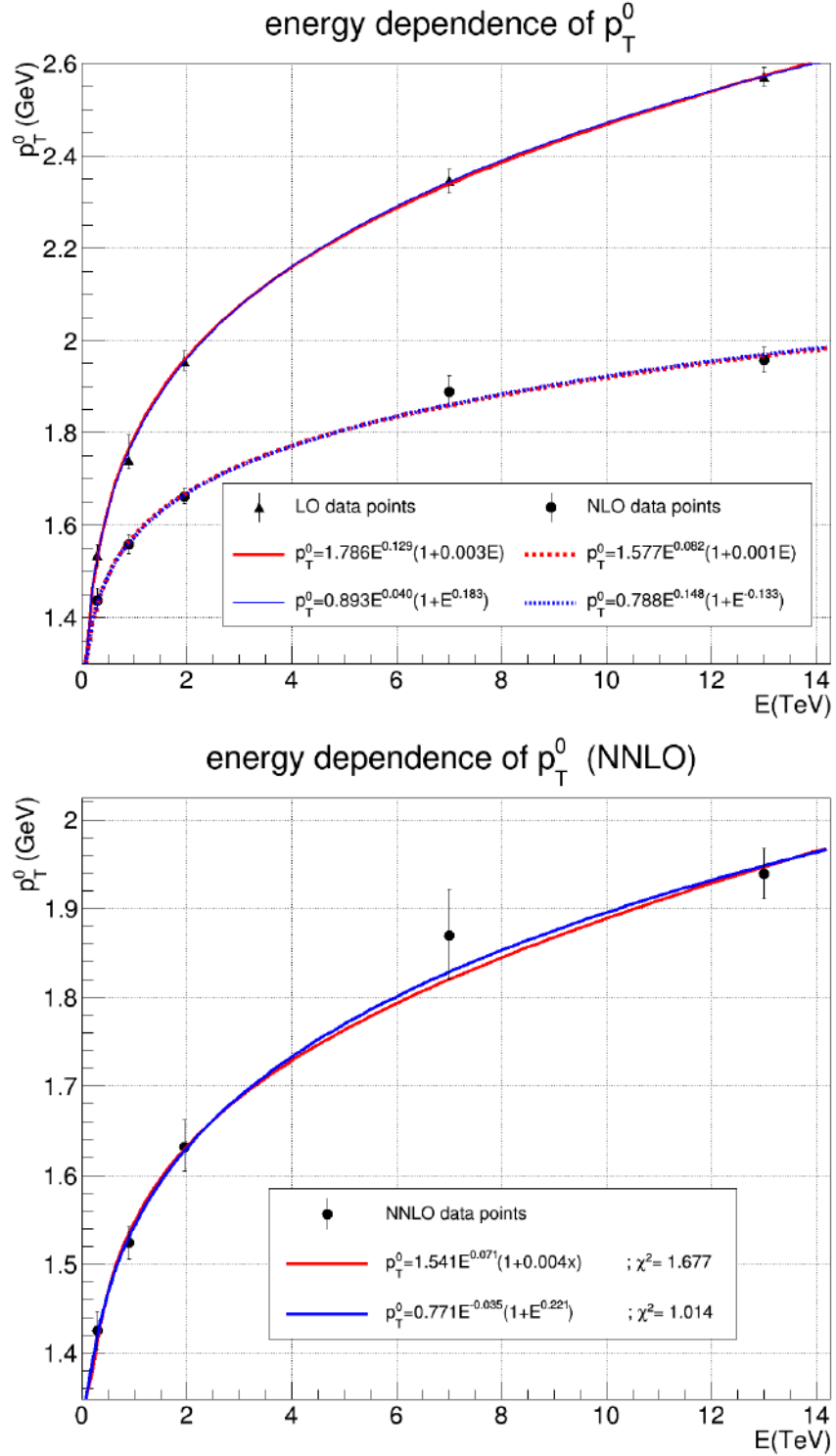


Figure 7: Fitting curves from  $h$ -modification

### 3.2.5 Other functions

There are many functions exclusive of those modifications previously mentioned that also give good  $\chi^2$ , some of them plotted in figure 8.

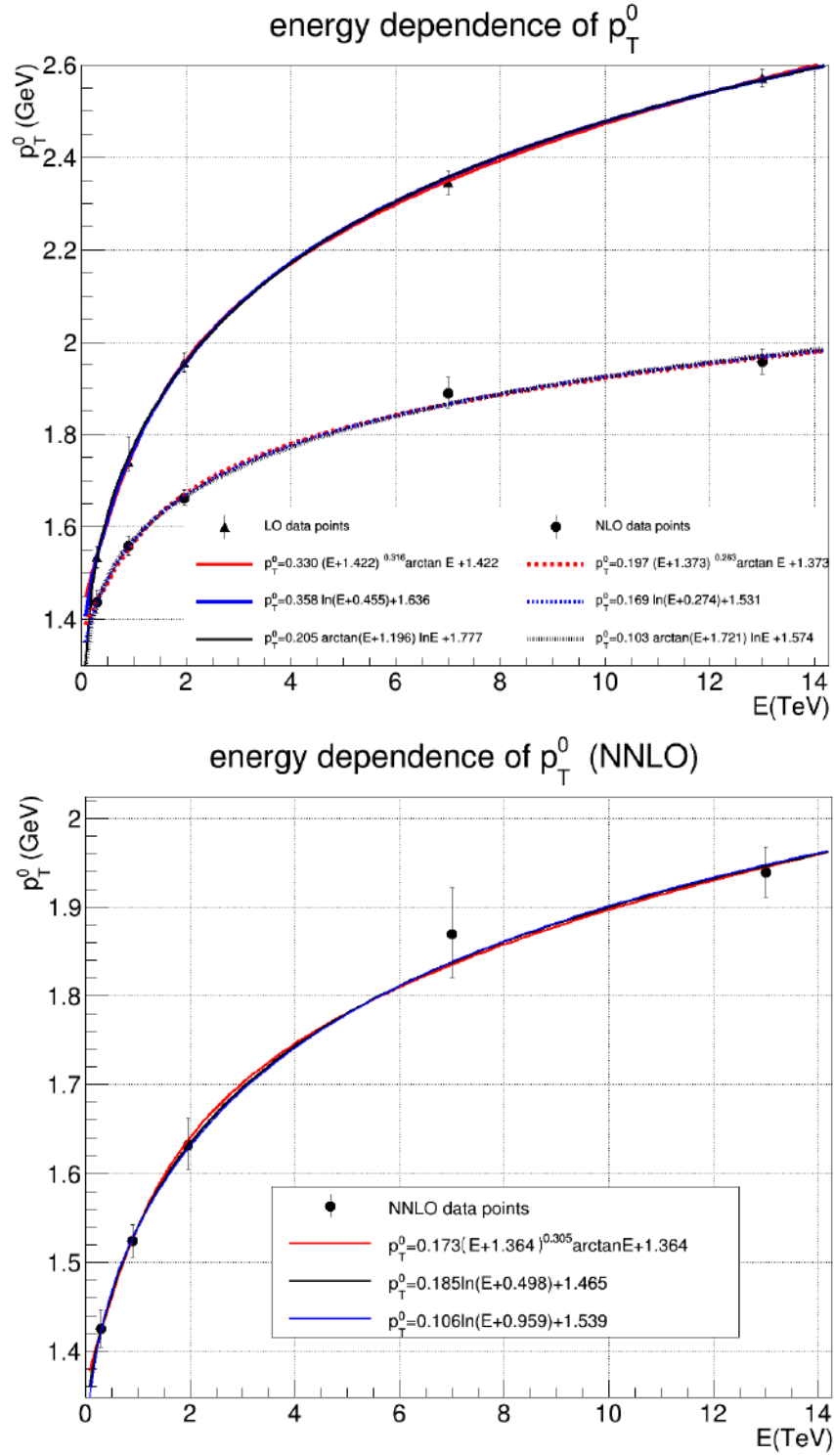


Figure 8: *Fitting curves from other functions*

fitting function	LO				NLO				NNLO			
	$a$	$b$	$c$	$\chi^2$	$a$	$b$	$c$	$\chi^2$	$a$	$b$	$c$	$\chi^2$
$p_T^0 = aE^b$	1.794	0.139	-	1.508	1.579	0.085	-	1.280	1.555	0.085	-	2.719
$p_T^0 = E^a + b$	0.228	0.782	-	0.468	0.129	0.576	-	0.992	0.128	0.551	-	1.844
$p_T^0 = aE^b \arctan(E + c)$	1.262	0.115	5.282	0.184	1.208	0.029	2.565	0.354	1.168	0.038	2.926	0.499
$p_T^0 = aE^b \arctan(E) + c$	0.376	0.263	1.464	0.686	0.218	0.219	1.393	0.880	0.199	0.249	1.382	0.412
$p_T^0 = aE^b \ln(E) + c$	0.236	0.103	1.784	0.142	0.128	0.070	1.576	0.968	0.117	0.117	1.543	1.010
$p_T^0 = aE^b + c$	1.184	0.199	0.601	0.160	0.940	0.136	0.635	0.986	0.522	0.224	1.022	1.060
$p_T^0 = aE^b + (1 + c \ln(E))$	0.775	-0.289	0.468	0.178	0.574	-0.199	0.244	0.824	0.540	-0.259	0.261	0.671
$p_T^0 = aE^b + (1 + cE)$	0.795	0.317	-0.017	0.222	0.583	0.245	-0.010	0.558	0.548	0.226	-0.003	1.018
$p_T^0 = aE^b(1 + cE)$	1.786	0.129	0.003	0.368	1.577	0.082	0.001	1.200	1.541	0.071	0.004	1.677
$p_T^0 = aE^b(1 + E^c)$	0.893	0.040	0.183	0.168	0.788	0.148	-0.133	0.992	0.771	-0.035	0.221	1.014
$p_T^0 = a \ln(E + b) + c$	0.358	0.455	1.636	0.223	0.169	0.274	1.531	0.681	0.185	0.498	1.465	0.535
$p_T^0 = a \ln(E^b + c)$	1.797	0.355	1.696	0.118	1.543	0.231	1.776	0.934	1.219	0.341	2.546	0.950
$p_T^0 = a(E + c)^b \arctan(E) + c$	0.330	0.316	1.422	0.024	0.197	0.263	1.373	0.936	0.173	0.305	1.364	0.607
$p_T^0 = a \arctan(E + b) \ln(E) + c$	0.205	1.196	1.777	0.286	0.103	1.721	1.574	0.752	0.106	0.959	1.539	0.569
$p_T^0 = a \arctan(E) \ln(E + b) + c$	0.271	4.095	1.419	0.062	0.138	5.176	1.371	0.980	0.137	3.984	1.366	0.571
$p_T^0 = E^a \arctan(E^b) + c$	0.148	0.242	0.997	0.115	0.096	0.107	0.790	0.963	0.158	0.001	0.763	1.422

Table 2: All of functions investigated in this work that better in fitting data compared to the default function (the topmost one) along with the values of all parameters and  $\chi^2$  associated with them

## 4 Conclusions

According to table 2, the default function is obviously not the best function to use for describing the energy dependence of  $p_T^0$ . There are many functions with 3 parameters better but only one function with 2 parameters can be found in this work. Moreover, it shows that one way to obtain better functions is to modify the default function by introducing the new factor or perturbative term (f,g,h-modification). Even though these functions do not build from first principle, most of them remain composed of a power term which indirectly supports the assumption about the relation of  $p_T^0$  and energy.

## References

- [1] T. Sjöstrand, P.Z. Skands, *Multiple Interactions and the Structure of Beam Remnants*, JHEP, **03**, (2004), 053, hep-ph/0402078.
- [2] A. Buckley et al. *Rivet user manual*. Comput. Phys. Commun., 184:2803-2819, (2013), doi: 10.1016/j.cpc.2013.05.021.
- [3] A. Buckley et al. *Systematic event generator tuning for the LHC*. Eur. Phys. J. C., 65:31, (2010), doi: 10.1140/epjc/s10052-009-1196-7.