บทที่ 2
รายงานโครงการวิจัย

เกริ่นนำ

งานวิจัยของข้าพเจ้านั้นเป็นการทำ data analysis โดยศึกษาเกี่ยวกับ dark matter จุดประสงค์ของงานวิจัยคือการประมาณจำนวน Invisible Z (เหตุการณ์ของอนุภาค Z boson ซึ่งสลายตัวให้ neutrinos $(Z \rightarrow \nu\nu)$) ซึ่งเป็น background ในการศึกษา monojet final state เพื่อค้นหา new physics แต่เนื่องจากนิวตริโนเป็นอนุภาคที่ไม่สามารถตรวจวัดได้ จึงต้องประมาณจำนวน $Z \rightarrow \nu\nu$ จากเหตุการณ์อื่นที่สามารถตรวจวัดได้แทน เหตุการณ์หนึ่งที่ใช้ในการประมาณจำนวน $Z \rightarrow \nu\nu$ คือ $Z \rightarrow \mu\mu$ แต่เนื่องจาก $Z \rightarrow \mu\mu$ มีจำนวนน้อย เมื่อทำการศึกษาที่ระดับพลังงานสูง ๆ ทำให้การประมาณ $Z \rightarrow \upsilon\upsilon$ มีความคลาดเคลื่อนสูง งานของข้าพเจ้าจึงนำเหตุการณ์อื่นที่มีจำนวนมากกว่า $Z \rightarrow \mu\mu$ ซึ่งก็คืออนุภาค W boson ซึ่งสลายตัวให้ muon และ neutrino $(W \rightarrow \mu\nu)$) มาคำนวณหาจำนวน $Z \rightarrow \upsilon\upsilon$ เพื่อให้ความคลาดเคลื่อนในการประมาณ invisible Z ลดลง และนำผลการประมาณที่ได้จากทั้งสองเหตุการณ์มาคำนวณเป็นผลลัพธ์สุดท้าย

การประมาณ invisible Z โดยใช้ $Z \rightarrow \mu\mu$ และ $W \rightarrow \mu\nu$ นั้นมีข้อดีคือ เราสามารถใช้ข้อมูลชุดเดียวกันได้ (ใช้ข้อมูลจาก trigger เดียวกัน) นอกจาก $Z \rightarrow \mu\mu$ และ $W \rightarrow \mu\nu$ แล้วยังมี γ ที่สามารถนำมาใช้ประมาณ invisible Z ได้ แต่ต้องมีข้อมูลจาก photon trigger ด้วยอีกชุดหนึ่ง

ในงานวิจัยนี้ ข้าพเจ้าได้ใช้ CMSSW ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการทำงานของ CMS โดยเฉพาะและโปรแกรม ROOT ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการทำงานด้าน data analysis รายงานการวิจัยของข้าพเจ้าเป็นดังนี้

Invisible Z Estimation in the Monojet final state

Nuttamas Tubsrinuan
Department of Physics and Materials Science, Faculty of Science,
Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand

Supervisor
Norraphat Srimanobhas
Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

Abstract

A study in jet plus missing transverse energy (MET) in the LHC has high potential for discovery of new physics. One of dominant backgrounds remaining after applying monojet event selections is invisible Z. In this work, a contribution of irreducible invisible Z background is estimated by using Z($\mu\mu$)+jets and W($\mu\nu$)+jets events. Since they are statistically uncorrelated, the final estimate is determined by taking the weighted average of the two predictions. Finally, the exclusion limit is calculated from the result.

1. Introduction

Monojet plus missing transverse energy has high potential in discovering new Physics. One of dominant backgrounds remaining after applying the monojet event selections is a Z($\nu\nu$) event which represents an irreducible background as an invisible Z decay leading to real missing transverse energy. To predict a $Z(\nu\nu)$ contribution in the monojet final state, a $Z(\mu\mu)$ event is employed. Since this estimation gives rise to large statistical uncertainty because of limited numbers of the Z($\mu\mu$) events at high energy, an alternative method is introduced by employing a W($\mu\nu$)+jets sample. The uncertainty can be reduced due to larger statistic.

2. Theoretical Background

An estimated number of the $Z(\nu\nu)$ events is obtained by utilizing the fact that, excluded the lepton, the jet kinematics of the W + jets and the Z + jets events at high boson p_T are very similar. Muons from the decay are interpreted as missing energy. The number of the Z($\nu\nu$) events can be estimated by using

$$N(Z \to \nu\nu) = \frac{N_{obs} - N_{bgd}}{A \cdot \varepsilon} \cdot R\left(\frac{Z \to \nu\nu}{Z \to \mu\mu}\right) \qquad (1)$$

where N_{obs} represents the number of observed dimuon events. N_{bgd} accounts for the number of background events contributing to the dimuon sample obtained by preforming a Monte Carlo simulation. A is an acceptance, a fraction of simulated events passing all selection requirements and all simulated events. ε is a selection efficiency which is determined by a fraction of the number of events passing acceptance cuts and the number of events passing the muon identification and isolation. R is a ratio of the branching fraction of the $Z \to \nu\nu$ and the $Z \to \mu\mu$.

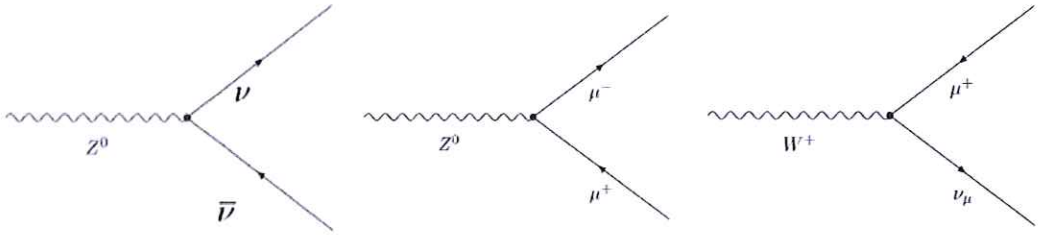


Figure 1 Feynman diagrams showing decays of (a) a Z particle to neutrinos (b) Z particle to muons and (b) W particle to muon and neutrino

3. Method

In this study, the number of the invisible Z background was obtained from $Z(\mu\mu)$+jets and $W(\mu\nu)$+jets events provided by p-p collision at $\sqrt{s}$ = 8 TeV in the LHC corresponding to an integrated luminosity of 19.712 fb^{-1}.

3.1 Event selection

The number of the Z($\mu\mu$) and the W($\mu\nu$)+jets control samples are obtained by applying the full monojet selection with the exception of the muon veto. For a Z($\mu\mu$) control sample, events need to pass all signal selection requirements and have two muons with p_T >20 GeV/c, $|\eta|$ <2.4 and invariant mass between 60 and 120 GeV. The transverse mass is defined as $M_T = \sqrt{2p_T^{\mu} E_T^{miss}(1 - \cos\Delta\phi)}$ where p_T^{μ} is the transverse momentum of the muon and $\Delta\phi$ is the angle between the muon p_T and the E_T^{miss} vectors. The muon veto is replaced by requiring two muons and at least one of these has to be well identified and isolated. To obtain the W($\mu\nu$)+jets sample, all signal selections are also required apart from the muon veto. A well-identified and isolated muon with p_T>20 GeV/c, $|\eta|$<2.4 and a reconstructed W transverse mass between 50 and 100 GeV is selected.

3.2 Estimation of Z($\nu\nu$) background

Since the Z($\nu\nu$) and the Z($\mu\mu$) events have similar kinematic characteristics, the muons from the Z decay are interpreted as missing energy. The missing transverse energy of the Z($\mu\mu$) event is determined by the vector sum of the transverse momentum of the muons and the E_T^{miss}, and so called MET-like. The number of the Z($\nu\nu$) events can be estimated by using the Z($\mu\mu$) events with

equation (1).

For the estimate from W($\mu\nu$)+jets events, the invisible Z decay of the Z boson is mimicked by removing the muon from the W($\mu\nu$) event and adding to the missing transverse energy. The number of the invisible Z background is determined by the same equation where R becomes the difference between the Z and the W in shape of distributions on which cuts are applied.

4. Results and Discussion

Prediction results from the Z($\mu\mu$) and the W($\mu\nu$) samples are shown in table 1 and 2, respectively. The dominant uncertainty is the statistical uncertainty from the number of the Z($\mu\mu$) events while the method of using the $W(\mu\nu)$ +jets events allows a much more precise of the invisible Z estimation.

MET	N_{obs}	N_{bgd}	Acceptance	Efficiency	Z($\nu\nu$)
> 250 GeV	3695	288	0.89±0.02	0.74±0.02	30700±1898
> 300 GeV	1538	128	0.91±0.02	0.75±0.02	12199±831
> 350 GeV	685	70	0.93±0.02	0.76±0.02	5174±423
> 400 GeV	348	31	0.94±0.02	0.76±0.02	2630±238
> 450 GeV	183	15	0.94±0.02	0.75±0.03	1420±152
> 500 GeV	96	7.7	0.94±0.02	0.76±0.03	732±98
> 550 GeV	47	5.1	0.95±0.02	0.75±0.04	349±66

Table 1: Invisible Z prediction by using Z($\mu\mu$) events

MET	N_{obs}	N_{bgd}	Acceptance	Efficiency	Z($\nu\nu$)
> 250 GeV	17191	1816	0.86±0.02	0.39±0.02	21874±1090
> 300 GeV	6955	712	0.89±0.02	0.39±0.02	8719±444
> 350 GeV	3104	319	0.90 ±0.02	0.38±0.02	3860±210
> 400 GeV	1484	148	0.91±0.02	0.38±0.02	1851±109
> 450 GeV	780	76	0.92±0.02	0.37±0.03	990±66
> 500 GeV	402	44	0.93±0.02	0.37±0.03	521±43
> 550 GeV	228	31	0.94±0.02	0.38±0.04	287±31

Table 2: Invisible Z prediction by using W($\mu\nu$) events

The final result of the invisible Z background estimation shown in the table 3 is obtained by taking weight average on two predictions where the uncertainty in the predicted number is the quadratic sum. By combining the estimate of the invisible Z from two samples, the uncertainty was reduced. However, it should be noted here that the W($\mu\nu$) and the Z($\mu\mu$) are not completely uncorrelated due to the lepton identification. Other backgrounds obtained from a Monte Carlo simulation are combined to calculate the exclusion limit.

MET (GeV)	> 250	> 300	> 350	> 400	> 450	> 500	> 550
Z($\nu\nu$)+jets	26287±1094	10459±471	4517±236	2241±131	1205±83	626±53	318±36
W+jets	17177±1030	5908±365	2333±154	1012±72	495±39	247±24	119±14
$t\bar{t}$	446±223	167±84	69±35	31±16	15±7.7	6.6±2.3	2.8±1.4
Z(ll)+jets	134±67	43±21	17±8.7	8.4±4.2	4.7±2.3	2.3±1.2	1.0±0.5
Single t	155±77	53±26	18±9.1	6.1±3.1	0.9±0.4	0.0±0.0	0.0±0.0
QCD Multijets	462±231	101±51	32±16	5.5±2.7	2.3±1.2	1.2±0.6	0.6±0.3
Diboson	3421±1710	1396±698	641±320	305±153	165±83	88±44	55±28
Total SM	48081±2302	12600±924	7628±429	3609±214	1889±124	971±73	497±48
Data	52157	19783	8324	3825	1828	934	519
Exp limit	4225	1707	787	368	199	122	90
Obs limit	7627	3103	1360	564	170	102	107

Table 3: SM background predictions compared with data after passing the selection requirement for different E_T^{miss} thresholds. The last two rows show expected and observed limits on possible contributions from new physics passing the selection criteria obtained from RooStat.

6. Summary

One of useful methods to estimate the Z($\nu\nu$)+jets irreducible background is the use of W($\mu\nu$)+jets data. The method takes advantage of the fact that at high boson p_T, the event kinematics is similar for the two processes. The advantage comes from large statistic compared to the method using Z($\mu\mu$)+jets events. Another benefit of the use of the Z+jets and the W+jets samples is that both signals and backgrounds are from the same dataset because they are selected by the same monojet+MET trigger. By the way, γ+jets control sample also can be used in the invisible Z estimation by treating a photon as transverse missing energy. It has large statistic and has cleaner signal than the W+jets control samples but another dataset from a photon trigger is required.

Acknowledgement

This work was done as a part of the CERN summer student program 2014 under the supervision of Dr. Norraphat Srimanobhas. The author has received support from the Thai-CERN Collaboration program.

References:

[1] CMS Collaboration, "Search for new physics in monojet events in pp collisions at $\sqrt{S} = 8$ TeV", CMS Physics Analysis Summary CMS PAS EXO-12-048, (2013).

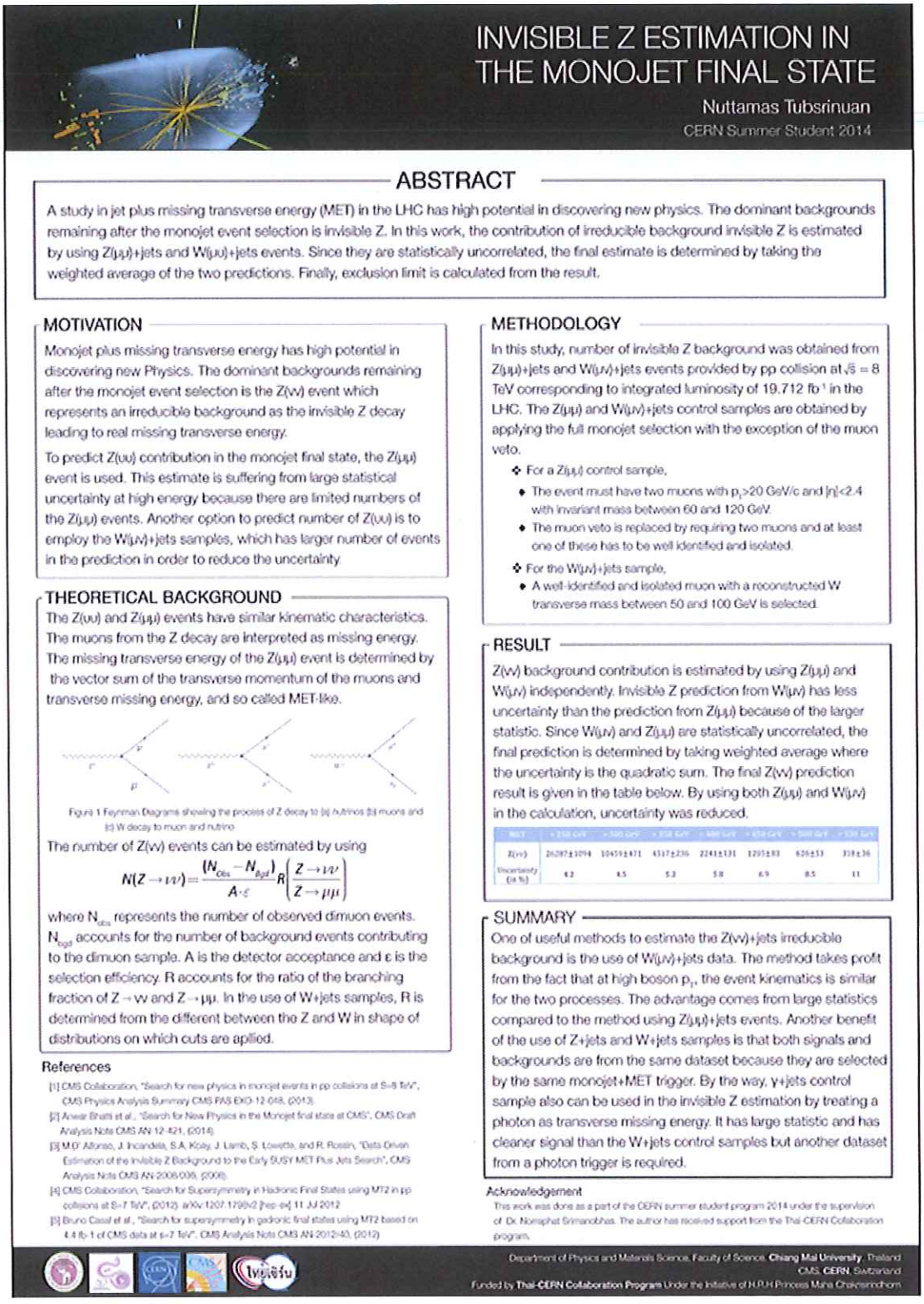
[2] Anwar Bhatti et al., "Search for New Physics in the Monojet final state at CMS", CMS Draft Analysis Note CMS AN-12-421, (2014).

[3] M.D' Alfonso, J. Incandela, S.A. Koay, J. Lamb, S. Lowette, and R. Rossin, "Data-Driven Estimation of the Invisible Z Background to the Early SUSY MET Plus Jets Search", CMS Analysis Note CMS AN-2008/036, (2008).

[4] CMS Collaboration, "Search for Supersymmetry in Hadronic Final States using M_{T2} in pp collisions at S=7 TeV", (2012). arXiv:1207.1798v2 [hep-ex] 11 Jul 2012

[5] Bruno Casal et al., "Search for supersymmetry in gadronic final states using M_{T2} based on 4.4 fb^{-1} of CMS data at $\sqrt{s} = 7$ TeV". CMS Analysis Note CMS AN-2012/40, (2012).

Poster



INVISIBLE Z ESTIMATION IN THE MONOJET FINAL STATE

Nuttamas Tubsrinuan
CERN Summer Student 2014

ABSTRACT

A study in jet plus missing transverse energy (MET) in the LHC has high potential in discovering new physics. The dominant backgrounds remaining after the monojet event selection is invisible Z. In this work, the contribution of irreducible background invisible Z is estimated by using Z(μμ)+jets and W(μν)+jets events. Since they are statistically uncorrelated, the final estimate is determined by taking the weighted average of the two predictions. Finally, exclusion limit is calculated from the result.

MOTIVATION

Monojet plus missing transverse energy has high potential in discovering new Physics. The dominant backgrounds remaining after the monojet event selection is the Z(νν) event which represents an irreducible background as the invisible Z decay leading to real missing transverse energy.

To predict Z(νν) contribution in the monojet final state, the Z(μμ) event is used. This estimate is suffering from large statistical uncertainty at high energy because there are limited numbers of the Z(μμ) events. Another option to predict number of Z(νν) is to employ the W(μν)+jets samples, which has larger number of events in the prediction in order to reduce the uncertainty.

THEORETICAL BACKGROUND

The Z(νν) and Z(μμ) events have similar kinematic characteristics. The muons from the Z decay are interpreted as missing energy. The missing transverse energy of the Z(μμ) event is determined by the vector sum of the transverse momentum of the muons and transverse missing energy, and so called MET-like.

Figure 1 Feynman Diagrams showing the process of Z decay to (a) nutrinos (b) muons and (c) W decay to muon and nutrino

The number of Z(νν) events can be estimated by using

$$N(Z\to\nu\nu) = \frac{(N_{Obs} - N_{Bgd})}{A\cdot\xi} R\left(\frac{Z\to\nu\nu}{Z\to\mu\mu}\right)$$

where N_{obs} represents the number of observed dimuon events. N_{bgd} accounts for the number of background events contributing to the dimuon sample. A is the detector acceptance and ε is the selection efficiency. R accounts for the ratio of the branching fraction of $Z\to\nu\nu$ and $Z\to\mu\mu$. In the use of W+jets samples, R is determined from the different between the Z and W in shape of distributions on which cuts are applied.

METHODOLOGY

In this study, number of invisible Z background was obtained from Z(μμ)+jets and W(μν)+jets events provided by pp collision at $\sqrt{s} = 8$ TeV corresponding to integrated luminosity of 19.712 fb^{-1} in the LHC. The Z(μμ) and W(μν)+jets control samples are obtained by applying the full monojet selection with the exception of the muon veto.

- For a Z(μμ) control sample,
  - The event must have two muons with p_T>20 GeV/c and |η|<2.4 with invariant mass between 60 and 120 GeV.
  - The muon veto is replaced by requiring two muons and at least one of these has to be well identified and isolated.
- For the W(μν)+jets sample,
  - A well-identified and isolated muon with a reconstructed W transverse mass between 50 and 100 GeV is selected.

RESULT

Z(νν) background contribution is estimated by using Z(μμ) and W(μν) independently. Invisible Z prediction from W(μν) has less uncertainty than the prediction from Z(μμ) because of the larger statistic. Since W(μν) and Z(μμ) are statistically uncorrelated, the final prediction is determined by taking weighted average where the uncertainty is the quadratic sum. The final Z(νν) prediction result is given in the table below. By using both Z(μμ) and W(μν) in the calculation, uncertainty was reduced.

MET	> 250 GeV	> 300 GeV	> 350 GeV	> 400 GeV	> 450 GeV	> 500 GeV	> 550 GeV
Z(νν)	26207±1094	10451±471	4517±236	2241±131	1205±83	626±53	338±36
Uncertainty (in %)	4.2	4.5	5.2	5.8	6.9	8.5	11

SUMMARY

One of useful methods to estimate the Z(νν)+jets irreducible background is the use of W(μν)+jets data. The method takes profit from the fact that at high boson p_T, the event kinematics is similar for the two processes. The advantage comes from large statistics compared to the method using Z(μμ)+jets events. Another benefit of the use of Z+jets and W+jets samples is that both signals and backgrounds are from the same dataset because they are selected by the same monojet+MET trigger. By the way, γ+jets control sample also can be used in the invisible Z estimation by treating a photon as transverse missing energy. It has large statistic and has cleaner signal than the W+jets control samples but another dataset from a photon trigger is required.

References

[1] CMS Collaboration, "Search for new physics in monojet events in pp collisions at $\sqrt{s}$=8 TeV", CMS Physics Analysis Summary CMS PAS EXO-12-048, (2013).
[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] M.D' Alfonso, J. Incandela, S.A. Koay, J. Lamb, S. Lowette, and R. Rossin, "Data-Driven Estimation of the Invisible Z Background to the Early SUSY MET Plus Jets Search", CMS Analysis Note CMS AN-2008/036, (2008).
[4] CMS Collaboration, "Search for Supersymmetry in Hadronic Final States using MT2 in pp collisions at $\sqrt{s}$=7 TeV", (2012). arXiv:1207.1798v2 [hep-ex] 11 JUl 2012
[5] Bruno Casal et al., "Search for supersymmetry in gadronic final states using MT2 based on 4.4 fb^{-1} of CMS data at $\sqrt{s}$=7 TeV", CMS Analysis Note CMS AN-2012/40, (2012)

Acknowledgement

This work was done as a part of the CERN summer student program 2014 under the supervision of Dr. Nonsphat Srimanobhas. The author has received support from the Thai-CERN Collaboration program.

Department of Physics and Materials Science, Faculty of Science, **Chiang Mai University**, Thailand
CMS, **CERN**, Switzerland
Funded by **Thai-CERN Collaboration Program** Under the Initiative of H.R.H Princess Maha Chakrisirindhorn

Student Session

Invisible Z estimation in the monojet final state

Nuttamas Tubsrinuan

Department of Physics and Materials Science
Chiang Mai University, Thailand

CMS, CERN Summer Student Program 2014

13th August 2014

3

Objective

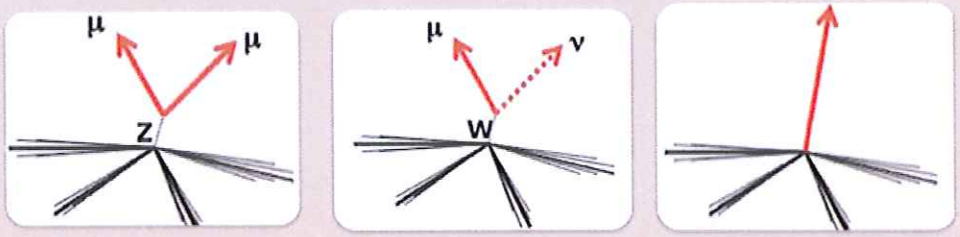
To estimate number of irreducible invisible Z background contribution in the monojet final state and obtain the exclusion limit in the study

4

Motivation

- Large missing transverse energy (MET) + jets has a great potential for discovery of new physics
- Invisible Z is one of dominant backgrounds remaining after applying monojet selection cuts.
- Z($\mu\mu$) sample is used to predict Z($\nu\nu$)
  - High uncertainty because of small statistic

Candidates for invisible Z estimation



Z(μμ)+jets	W(μν)+jets	γ+jets
• Clean • Easy to select • Small statistic	• Not so clean • Larger statistic	• Clean for high E • Large statistic • (Not so clean for < 100 GeV)

Meenakshi Narain, Searches with Missing E_T at the LHC, (2009).

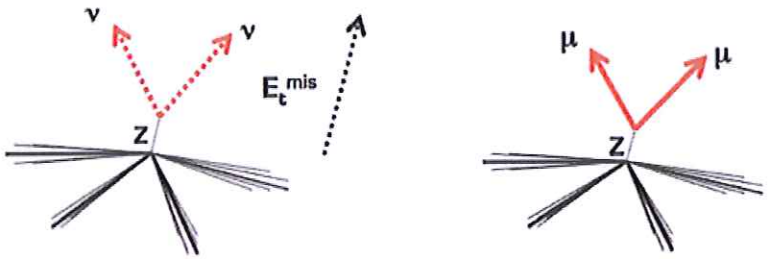
Outline

- Theoretical Background
- Event Selection
- Invisible Z prediction
- Result
- Summary
- Future Plans

7

Z+jets background estimation

$Z(\nu\nu)$ prediction using



The process of Z($\nu\nu$) is mimicked by removing muons in the Z($\mu\mu$) event to missing transverse energy.

8/29/14

8

Meenakshi Narain, Searches with Missing E_T at the LHC, (2009).

Z+jets background estimation

Use Z($\mu\mu$) as control sample to estimate Z($\nu\nu$)

$$N\left(Z \to \nu\nu\right) = \frac{\left(N_{Obs} - N_{Bgd}\right)}{A \cdot \varepsilon} R\left(\frac{Z \to \nu\nu}{Z \to \mu\mu}\right)$$

N_{obs}= Number of observed Z($\mu\mu$) event
N_{bgd}= Number of estimated Z($\mu\mu$) background
A = Acceptance
ε = Selection efficiency

8/29/14 9

Acceptance and Efficiency

All generated events = X

cuts

Y events

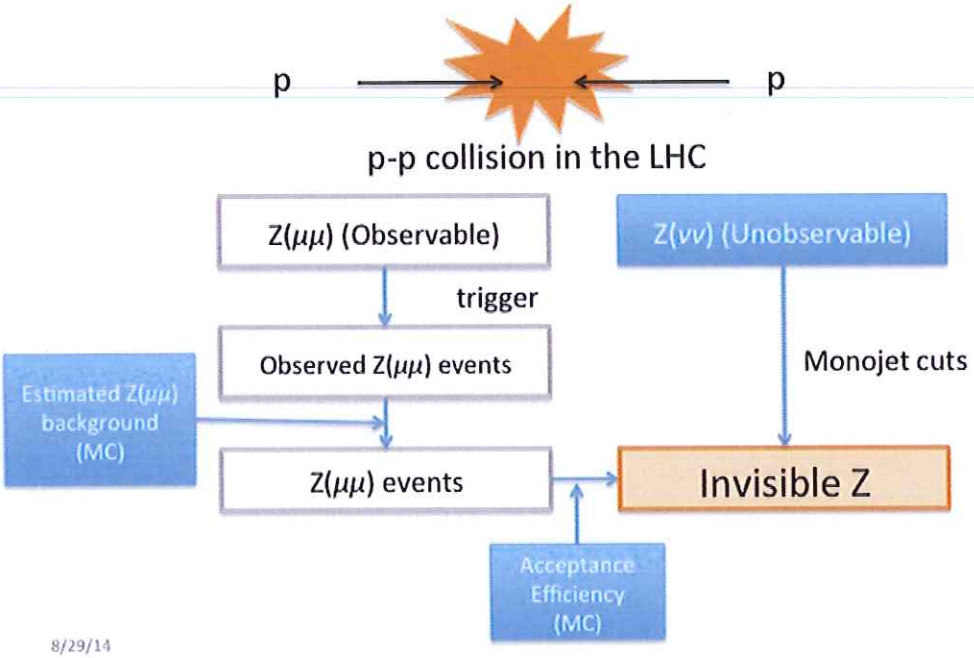
muon identification & isolation

Z events

Acceptance = Y/X
Efficiency = Z/Y

8/29/14 10

Analysis workflow



8/29/14 11

Event Selection

For Z($\mu\mu$)

- Monojet selection
- $p_T > 20\,GeV$
- $|\eta| < 2.4$
- Transverse invariant mass between 60 – 120 GeV

Require 2 muons and at least one of these has to be well identified and isolated.

$$M_T = \sqrt{2p_T^{\mu} E_T^{miss}\left(1-\cos\Delta\phi\right)}$$

p_T^{μ} - transverse momentum of the muon
$\Delta\phi$ - angle between the muon p_T and the E_T^{miss} vectors.

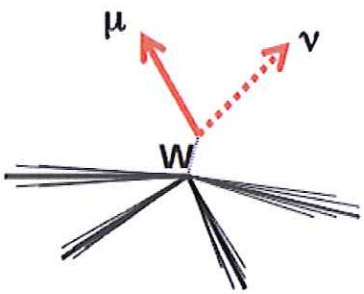
$Z(\nu\nu)$ Prediction

MET	N_{obs}	N_{bgd}	Acceptance	Efficiency	$Z(\nu\nu)$
> 250 GeV	3695	288	0.89±0.02	0.74±0.02	30700±1898
> 300 GeV	1538	128	0.91±0.02	0.75±0.02	12199±831
> 350 GeV	685	70	0.93±0.02	0.76±0.02	5174±423
> 400 GeV	348	31	0.94±0.02	0.76±0.02	2630±238
> 450 GeV	183	15	0.94±0.02	0.75±0.03	1420±152
> 500 GeV	96	7.7	0.94±0.02	0.76±0.03	732±98
> 550 GeV	47	5.1	0.95±0.02	0.75±0.04	349±66

➡ High uncertainty at high energy

$Z(\nu\nu)$ Prediction

Using W+jets



$$N(Z \to \nu\nu) = \frac{(N_{Obs} - N_{Bgd})}{A \cdot \varepsilon} R\left(\frac{Z \to \nu\nu}{W \to \mu\nu}\right)$$

Event selection

- Monojet selection
- $p_T > 20\ GeV$
- $|\eta| < 2.4$
- Well identified and isolated transverse invariant mass between 50 – 100 GeV

$Z(\nu\nu)$ Prediction

MET	N_{obs}	N_{bgd}	Acceptance	Efficiency	$Z(\nu\nu)$
> 250 GeV	17191	1816	0.86±0.02	0.39±0.02	21874±1090
> 300 GeV	6955	712	0.89±0.02	0.39±0.02	8719±444
> 350 GeV	3104	319	0.90 ±0.02	0.38±0.02	3860±210
> 400 GeV	1484	148	0.91±0.02	0.38±0.02	1851±109
> 450 GeV	780	76	0.92±0.02	0.37±0.03	990±66
> 500 GeV	402	44	0.93±0.02	0.37±0.03	521±43
> 550 GeV	228	31	0.94±0.02	0.38±0.04	287±31

➡ Lower uncertainty in Z($\nu\nu$) prediction

Exclusion limit

MET (GeV)	> 250	> 300	> 350	> 400	> 450	> 500	> 550
Z($\nu\nu$)+jets	26287±1094	10459±471	4517±236	2241±131	1205±83	626±53	318±36
W+jets	17177±1030	5908±365	2333±154	1012±72	495±39	247±24	119±14
$t\bar{t}$	446±223	167±84	69±35	31±16	15±7.7	6.6±2.3	2.8±1.4
Z(ll)+jets	134±67	43±21	17±8.7	8.4±4.2	4.7±2.3	2.3±1.2	1.0±0.5
Single t	155±77	53±26	18±9.1	6.1±3.1	0.9±0.4	0.0±0.0	0.0±0.0
QCD Multijets	462±231	101±51	32±16	5.5±2.7	2.3±1.2	1.2±0.6	0.6±0.3
Diboson	3121±1710	1396±698	641±320	305±153	165±83	88±44	55±28
Total SM	48081±2302	12600±924	7628±429	3609±214	1889±124	971±73	497±48
Data	52157	19783	8324	3825	1828	934	519
Exp limit	4225	1707	787	368	199	122	90
Obs limit	7627	3103	1360	564	170	102	107

Summary

- One of useful methods to estimate the Z($\nu\nu$) is the use of W($\mu\nu$)+jets data.
- Taking the advantage of the similar kinematics of Z($\nu\nu$) and W($\mu\nu$)
- Using W($\mu\nu$) control samples, the uncertainty was reduced.

17

Future Plans

- Expand range of event selection in order to reduce statistic uncertainty
- Invisible Z Estimation by using γ+jets.

8/29/14

18

References

[1] CMS Collaboration, "Search for new physics in monojet events in pp collisions at *S=8* TeV", CMS Physics Analysis Summary CMS PAS EXO-12-048, (2013).
[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] M.D' Alfonso, J. Incandela, S.A. Koay, J. Lamb, S. Lowette, and R. Rossin, "Data-Driven Estimation of the Invisible Z Background to the Early SUSY MET Plus Jets Search", CMS Analysis Note CMS AN-2008/036, (2008).
[4] CMS Collaboration, "Search for Supersymmetry in Hadronic Final States using *MT2* in pp collisions at S=7 TeV", (2012). arXiv:1207.1798v2 [hep-ex] 11 Jul 2012
[5] Bruno Casal et al., "Search for supersymmetry in gadronic final states using M_{T2} based on 4.4 fb^{-1} of CMS data at *s=7* TeV". CMS Analysis Note CMS AN-2012/40, (2012)

Acknowledgement

Research Advisors

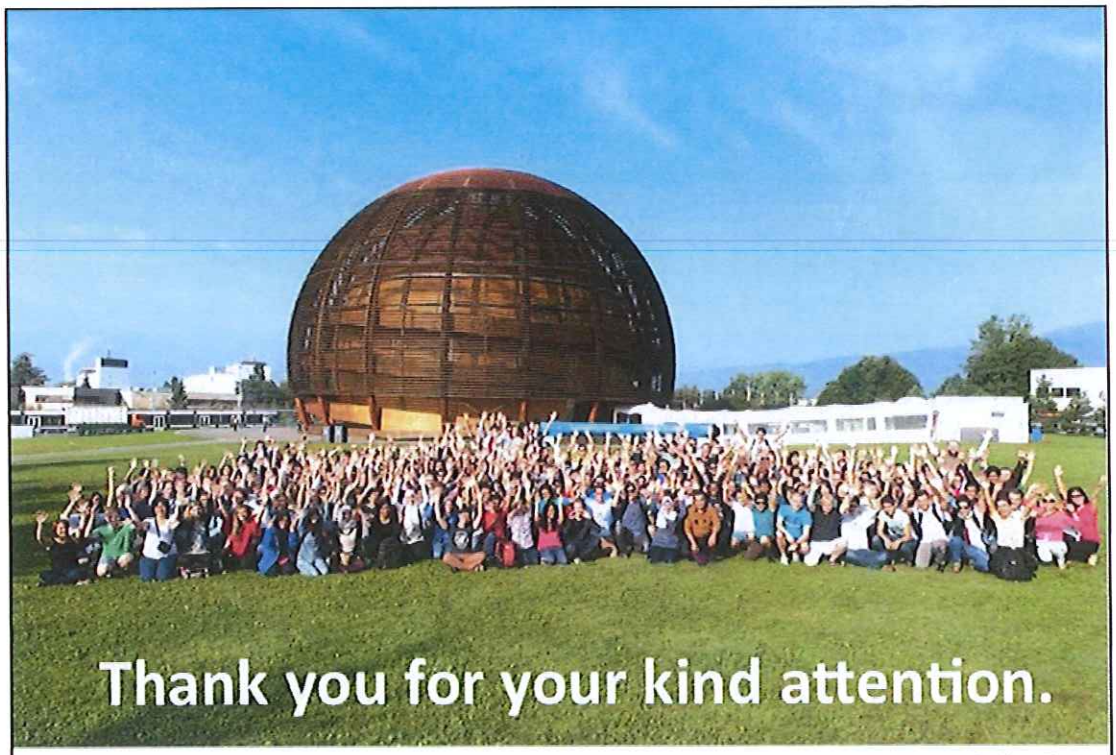
- Dr. Norraphat Srimanobhas

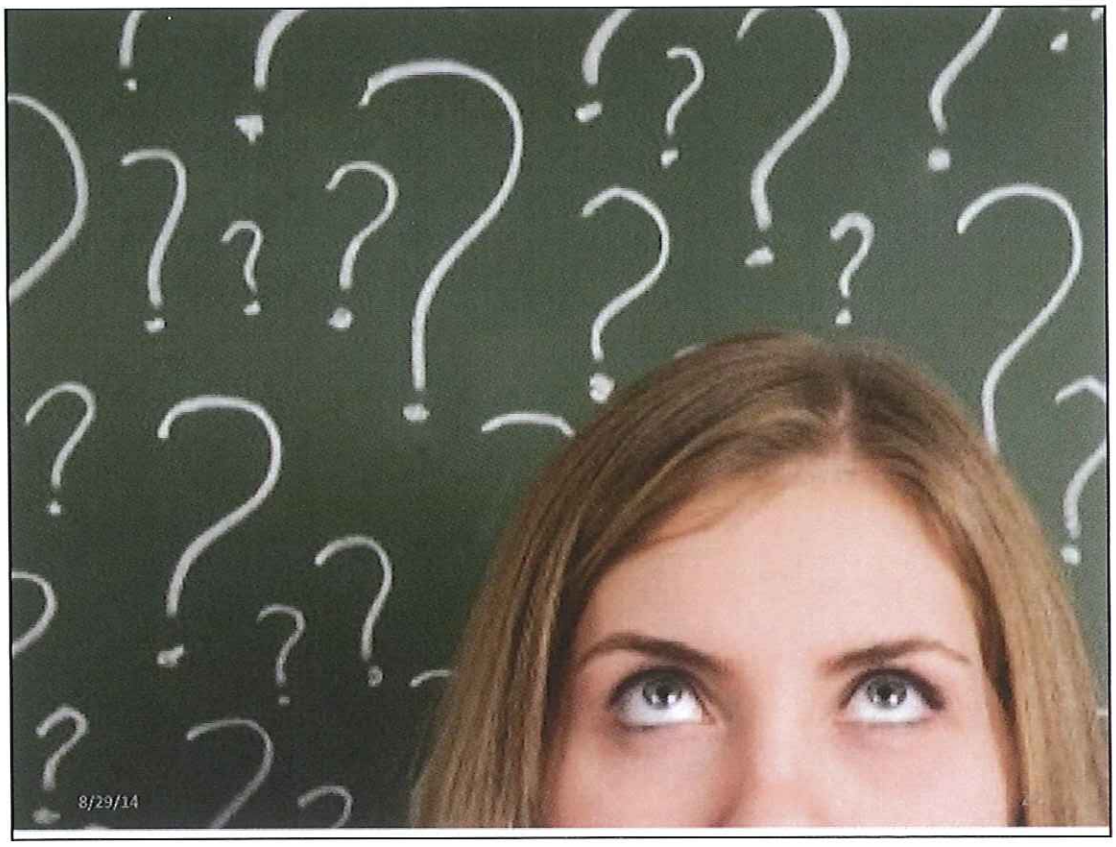
Research Grant

- Thai-CERN Collaboration Program

Special Thanks

- Department of Physics and Materials Science, Chiang Mai University
- CMS Collaboration
- CERN Summer Student Team
- CERN Summer Student Program 2014


Thank you for your kind attention.
Cr. CERN Summer Student Team
8/29/14
21


8/29/14

บทที่ 3
ประสบการณ์และข้อเสนอแนะ

จากการได้เข้าร่วมกิจกรรมในครั้งนี้ ทั้งก่อนเดินทางมาเซิร์น และขณะที่อยู่ที่เซิร์น ทั้งหมดถือเป็นประสบการณ์ใหม่ของข้าพเจ้า มีทั้งประสบการณ์ที่ดี ปัญหา และอุปสรรค ข้าพเจ้าได้สรุปโดยแบ่งออกเป็นหัวข้อ รวมทั้งเสนอข้อเสนอแนะไว้ดังนี้

3.1 ประสบการณ์

- **ด้านวิชาการ**

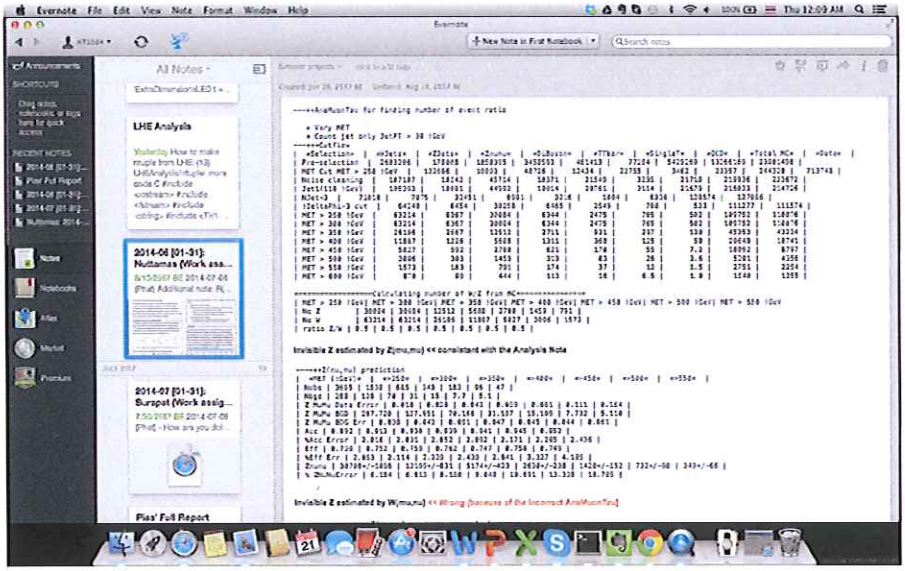
การเข้าร่วมโครงการ CERN Summer Student Program 2014 ที่เซิร์น ซึ่งเป็นองค์กรวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาค ทำให้ข้าพเจ้าได้สัมผัสกับสาขาฟิสิกส์อนุภาคจริง ๆ เป็นครั้งแรก เพราะขณะที่ข้าพเจ้าเรียนในระดับปริญญาตรี ไม่มีวิชาฟิสิกส์อนุภาคเปิดสอน ในปีที่ข้าพเจ้าเรียน ข้าพเจ้าได้เรียนแต่บทเกริ่นนำเท่านั้น เมื่อได้เข้าร่วมโครงการ ก็ได้เข้าอบรมเตรียมความพร้อม หลังจากนั้นจึงได้มาเรียนที่เซิร์น ข้าพเจ้าพบว่าการฟังบรรยายที่เซิร์น ทำให้ข้าพเจ้ามีแรงบันดาลใจขึ้นมาหลายอย่าง บางวิชาที่ข้าพเจ้าไม่เคยคิดว่าน่าสนใจ กลับกลายเป็นวิชาที่สนุก มีหลายหัวข้อที่ข้าพเจ้าคิดว่ายากแต่น่าสนใจมาก ข้าพเจ้าพยายามกลับมาทบทวนเนื้อหาที่เรียนตอนเย็น แต่มีเวลาทบทวนไม่มากนัก เพราะยังต้องทำงานวิจัยไปด้วย หลายครั้งที่ข้าพเจ้าออกจากห้องฟังบรรยาย แล้วรู้สึกมีแรงบันดาลใจอยากทำงานทางฟิสิกส์ต่อไป การบรรยายที่เซิร์นนั้นแตกต่างจากการบรรยายใน Physics Schools ต่าง ๆ ที่ข้าพเจ้าเคยเข้าร่วมอยู่เล็กน้อย เพราะการบรรยายที่เซิร์นนั้น ผู้บรรยายส่วนใหญ่พยายามสร้างแรงบันดาลใจให้ผู้ฟัง อยากทำงานด้านการวิจัย ตั้งคำถามที่น่าสนใจ กระตุ้นความอยากรู้อยากเห็นของผู้ฟังตลอดเวลา และผู้บรรยายแต่ละคนนั้นก็เป็นอาจารย์จากมหาวิทยาลัย นักฟิสิกส์ และผู้เชี่ยวชาญระดับแนวหน้าของโลก นอกจากการฟังบรรยายแล้ว ข้าพเจ้ายังได้เรียนรู้วิชาการจากการทำงานวิจัยด้วยเช่นกัน ซึ่งจะขอเล่าในหัวข้อถัดไป

- **ด้านการทำงานวิจัย**

งานวิจัยของข้าพเจ้าในครั้งนี้ เป็นครั้งแรกของข้าพเจ้าเช่นกัน ที่ข้าพเจ้าจะได้ทำงานเกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาค แม้ว่างานหลักที่ต้องทำจะเป็นการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ก็ตาม การมาทำงานในครั้งนี้ แตกต่างจากการทำงานที่ข้าพเจ้าเคยทำมา โปรแกรมและงานที่ทำค่อนข้างเป็นงานเฉพาะ เช่น CMSSW ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้กันเฉพาะใน CMS เท่านั้น เมื่ออ่านเอกสารต่าง ๆ มักจะเจอคำศัพท์เฉพาะ ที่ไม่สามารถไปหาความหมายจาก Google หรือหนังสืออ้างอิงได้ ก็จะต้องอาศัยการเข้าร่วมประชุมในงานต่าง ๆ และถามคนที่ทำงานอยู่โดยตรง

เมื่อข้าพเจ้าเดินทางมาถึงเซิร์นในสัปดาห์แรก ข้าพเจ้าต้องลงทะเบียนและรอให้ CMS รับข้าพเจ้าเข้าไปในเครือข่าย เพื่อให้ทำงานบนเครือข่ายของ CMS ได้ ดังนั้นสัปดาห์แรกของข้าพเจ้าจึงหมดไปกับการอ่านคู่มือ และเอกสารที่เกี่ยวกับงานวิจัย ข้าพเจ้าไม่มีโต๊ะทำงานส่วนตัว แต่มีโต๊ะส่วนกลางที่ว่าง สามารถไปใช้ได้ ในระยะหลังเริ่มมี summer students มาใช้ทำงานด้วยกันมาก และระหว่างวัน จะมี supervisor ของแต่ละคน เดินมาปรึกษางานด้วยกันตลอดทั้งวัน ทำให้ข้าพเจ้าไม่มีสมาธิ ตอนหลังข้าพเจ้าจึงย้ายไปนั่งทำงานในห้องสมุดของเซิร์น ซึ่งเปิด 24 ชั่วโมงทุกวัน ใน

สัปดาห์ที่สอง ข้าพเจ้าได้เริ่มทำแบบฝึกหัดซึ่งเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรม เรียนรู้ขั้นตอนการทำ Simulation และการนำข้อมูลออกมาเขียนเป็น Histogram สัปดาห์ที่สาม ข้าพเจ้าได้เริ่มศึกษา Analysis Note ที่เกี่ยวกับงานของข้าพเจ้า ข้าพเจ้าพบว่ามีคำศัพท์เฉพาะมากมาย ทำให้เข้าใจได้ยากมาก เมื่ออ่านครั้งแรก และเนื่องจากข้าพเจ้าไม่เคยอ่านงานเอกสารงานวิจัยทางการทำ Data Analysis ในสาขาฟิสิกส์อนุภาคมาก่อน ทำให้ข้าพเจ้าเลือกเน้นจุดที่สำคัญได้ไม่ทั้งหมด จึงต้องใช้เวลาในการค่อยๆทำความเข้าใจพอสมควร เวลาทำงานของข้าพเจ้าส่วนใหญ่จึงหมดไปกับการอ่านและการค้นคว้า(เพื่อให้เข้าใจในสิ่งที่อ่าน) หลังจากนั้นจึงได้ทดลองใช้โปรแกรมและเขียนโปรแกรมเพื่อดึงข้อมูลที่ต้องการออกมาเตรียมไว้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล สัปดาห์ถัดมาจึงเขียนคำสั่งเพื่อส่งไปรันบนเครือข่ายของเซิร์น การรันชุดคำสั่งเหล่านี้ใช้เวลาประมานหนึ่งถึงสองวัน แต่การส่งตอนที่ส่งคำสั่งไปครั้งแรกนั้นมีปัญหา จึงต้องส่งคำสั่งไปรันใหม่ ใช้เวลาไปอีกเกือบสองวัน จึงจะได้ผลส่งกลับมายังข้าพเจ้า ช่วงการรันคำสั่งบนเครือข่ายของเซิร์นนี้ถือเป็นช่วงที่ใช้เวลามากที่สุด จากนั้นจึงนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ต่อ โดยต้องใช้ภาษาซีในการเขียนอีกเช่นเคย ในสัปดาห์นี้มีกิจกรรมมากมาย ทั้งการเยี่ยมชมสถานีทดลองและ Workshop แต่ในที่สุดข้าพเจ้าก็สามารถคำนวณหาจำนวน Invisible Z ออกมาได้ในวันพฤหัสตอนเช้ามืด



รูป 3.1 บันทึกการทำงานใน Evernote

เนื่องจากโปรแกรมหลักเสร็จแล้ว สัปดาห์ถัดมาจึงเป็นการหา cross section ของ process ต่างๆนำเข้ามาใส่ใน code ของข้าพเจ้า ข้าพเจ้าได้เรียนรู้การใช้โปรแกรมใหม่อีกโปรแกรมหนึ่งชื่อว่า MCFM เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการหา cross section โดยให้ค่าที่ละเอียดกว่าวิธีอื่น ๆ แต่ข้าพเจ้าพบว่า การใช้โปรแกรมนี้ต้องใส่ค่าต่าง ๆ ซึ่งซับซ้อนกว่าที่คิดไว้ ที่ปรึกษาจึงให้ศึกษางานที่เกี่ยวข้องและใช้วิธีอื่นแทน โดยข้าพเจ้าต้องเขียนโปรแกรมเพิ่มเติม เพื่อหา cross section ratio มาใช้ในการคำนวณ Invisible Z หลังจากหา invisible Z ได้แล้ว จึงนำมาหา upper limit โดยนำ estimated invisible Z รวมกับ background อื่น ๆ มาคำนวณด้วยโปรแกรม Root ข้าพเจ้าจึงได้ใช้งานโปรแกรมย่อยอีกโปรแกรมหนึ่งของ Root ชื่อว่า RooStat ซึ่งใช้คำนวณ cross section ได้ แต่ผลจากการคำนวณนั้นไม่เป็นไปตามค่าที่ควรจะเป็น ข้าพเจ้าจึงหาข้อมูลเพิ่มเติม เพื่อตรวจสอบความเข้าใจและหาจุดผิดพลาด ในที่สุดข้าพเจ้าพบว่า ความเข้าใจนั้นถูกต้องแล้ว แต่ข้อมูลบางอย่างหายไป

เนื่องจากคำสั่งที่ข้าพเจ้าส่งขึ้นไปรันบนเครือข่ายของเซิร์นนั้น มีบางคำสั่งที่ถูกยกเลิกไป จึงได้ผลลัพธ์กลับมาไม่ครบ ทำให้จำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์นั้นมีน้อยกว่าที่ควรจะมี ข้าพเจ้าตรวจสอบข้อมูลทั้งหมดทีละชุด แล้วส่งคำสั่งไปรันบนเครือข่ายของเซิร์นใหม่อีกครั้ง ในที่สุดก็สามารถนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์แล้วได้ผลสอดคล้องกับงานที่มีคนทำไว้ก่อนหน้า

ข้าพเจ้าได้เรียนรู้การใช้งานโปรแกรมต่าง ๆ และหลักการทำงานของการทำวิจัยในสาขานี้ ซึ่งเป็นสาขาที่ต้องมีผู้ร่วมงานจำนวนมาก ใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ และเงินลงทุนมหาศาล ทรัพยากรบุคคลนอกจากนักฟิสิกส์แล้ว วิศวกรสาขาต่าง ๆ ทั้งเครื่องกล ไฟฟ้า และคอมพิวเตอร์ ก็มีบุคลกรที่ทำหน้าที่สนับสนุนการทำงาน เช่น ฝ่ายบุคคล ฝ่ายที่ดูแลความปลอดภัย ฯลฯ แสดงให้เห็นว่า บุคคลเหล่านี้จะต้องมีการทำงานร่วมกัน และมีการจัดการอย่างเป็นระบบ ข้าพเจ้าสังเกตว่าหน่วยงานหนึ่ง ๆ จะต้องมีการประชุมบ่อยมาก มีอีเมล์ติดต่อภายในหน่วยงานเป็นจำนวนมากในแต่ละวัน เพื่อติดตามและแจ้งความคืบหน้าในส่วนต่าง ๆ ข้าพเจ้าสังเกตจากเพื่อน ๆ ของข้าพเจ้า ส่วนใหญ่เพื่อน ๆ จะมีกลุ่มทำงาน แต่ละคนจะมี supervisor และมีผู้ช่วยคนอื่น ๆ ที่อยู่ในทีมเดียวกัน เช่น post doctorial หรือ Ph.D. student เป็นผู้ดูแลอีกทีหนึ่ง สามารถขอคำปรึกษาได้เช่นเดียวกัน

การทำงานในเซิร์นมีความยากและมีแต่คนเก่ง ๆ เข้ามาทำงาน ข้าพเจ้าสัมผัสได้ถึงบรรยากาศของการแข่งขัน ทั้งระหว่างคนที่ทำงานอยู่ในหน่วยงานเดียวกัน และคนที่ทำงานกันคนละหน่วย แต่ทุกคนก็ช่วยเหลือกันและทำงานกันเป็นทีม ขณะที่ทำงานนั้นแต่ละคนดูจริงจัง แต่เมื่อถึงเวลาเลิกงาน คนส่วนใหญ่ก็เลิกงานและทำกิจกรรมอื่น ๆ คนยุโรปเข้าและออกงานตรงเวลา ข้าพเจ้าไม่ค่อยเห็นคนยุโรปทำงานหลังเวลาเลิกงานมากเท่าคนเอเชีย ทั้งคนที่ทำงานและ summer students เนื่องจากอินเตอร์เน็ตที่หอพักของข้าพเจ้าไม่เสถียร ข้าพเจ้าทำงานที่ห้องพักไม่ได้ จึงต้องออกจากที่พักไปทำงานที่เซิร์นตอนกลางคืน ตอนค่ำ ข้าพเจ้ามักเห็นคนจำนวนมากใช้เวลาตอนเย็นในการออกกำลังกาย นั่งพบปะสังสรรค์ พักผ่อนกับเพื่อน ๆ พอถึงตอนดึกข้าพเจ้าพบว่าแทบไม่มีคนทำงานอยู่เลย ระหว่างทางที่กลับ ข้าพเจ้าพบคนอื่นที่ทำงานอยู่ในตึกแค่สองสามครั้งเท่านั้น

- **สังคมและวัฒนธรรม**

ที่เซิร์นและเจนีวานั้นมีคนจากหลายชาติหลายภาษา แต่ละคนมีค่านิยมต่างกัน แต่ทุกคนสามารถอยู่ร่วมกันได้ ภายใต้ข้อตกลงเดียวกันโดยไม่มีการขัดแย้งกัน สิ่งที่ข้าพเจ้าประทับใจคือ ทุกคนมาทำงานตรงเวลา ปฏิบัติตามกฎ และมีความรับผิดชอบ ข้าพเจ้าชอบบรรยากาศแบบนี้มาก เพราะการที่มีคนที่แตกต่างกันอยู่ด้วยกัน ทำให้ข้าพเจ้าได้เห็นมุมมองใหม่ ๆ อยู่เสมอ แต่ละคนที่นี่กล้าแสดงออก กล้าแสดงความคิดเห็น กล้าถามในที่สิ่งที่ไม่เข้าใจ และยอมรับความแตกต่าง ข้าพเจ้าชอบคุยกับเพื่อน ๆ ต่างชาติ แลกเปลี่ยนประสบการณ์กันระหว่างรับประทานอาหารตอนกลางวัน ก่อนจะแยกย้ายกันไปทำงาน นอกจากข้าพเจ้าจะมีเพื่อนเป็น summer students แล้ว ข้าพเจ้ายังได้พบกับเพื่อนใหม่ที่ไม่ใช่นักเรียน จากการไปทำกิจกรรมต่าง ๆ เช่น เพื่อนที่เป็นช่างภาพของเซิร์นจากงาน ALICE summer party เพื่อนชาวสวิสที่พี่กวาง (นักศึกษาสาขาคอมพิวเตอร์)พบโดยบังเอิญบนรถไฟ เพื่อนนักฟิสิกส์และวิศวกรจากการไปเรียนเต้น Salsa และ Zumba ข้าพเจ้าจึงได้เห็นมุมมองอีกมุมหนึ่งของคนที่อายุมากกว่า มีเพื่อน summer student คนหนึ่งที่ข้าพเจ้าชอบคุยด้วยมาก คือ Bryan เพื่อนคนนี้อายุ 40 ปีแล้ว แต่เป็นนักเรียนเพราะกำลังศึกษาปริญญาใบที่ 3 จึงสมัครเข้าโครงการ CERN Summer student ระหว่างปิดเทอม แสดงให้เห็นว่าไม่มีใครแก่เกินเรียน ถึงแม้จะอายุมากแล้วก็ไม่เป็นอุปสรรคในเรียนและการเข้าร่วมกิจกรรมใด ๆ เลย

นอกจากการเรียนและการทำวิจัยแล้ว ข้าพเจ้าพบว่า มีน้อยคนมากที่เก่งวิชาการเพียงอย่างเดียว เพื่อน ๆ ข้าพเจ้านั้นมีความสามารถพิเศษอื่น ๆ ต่างกันออกไปมากมาย เช่น การเต้น Salsa และ Latin แบบต่าง ๆ บางคนเล่นเปียโน แต่งเพลง เล่นกีฬาเก่ง ทำอาหารเก่ง จนสามารถเปิดสอนให้กับคนอื่น ๆ ได้ ข้าพเจ้าเองก็ยังได้เข้าร่วมกิจกรรมเหล่านี้บ้างในบางครั้ง

ข้าพเจ้าปรับตัวได้ค่อนข้างเร็วกับสังคมที่นี่ เพราะที่นี่มีความหลากหลายจึงทำให้สนุก ข้าพเจ้าได้เรียนรู้สิ่งใหม่ ๆ ตลอดเวลา จากการพูดคุยและสังเกตสิ่งรอบตัว ค่านิยมและวิธีคิดของชาวยุโรปบางทีก็แสดงออกผ่านเครื่องมือเครื่องใช้ ป้ายต่าง ๆ ยกตัวอย่างสิ่งที่ข้าพเจ้าชอบและคิดว่าน่าจะทำในประเทศของเราบ้าง เช่นการจัดการสาธารณูปโภค คนที่นี่มีการแยกขยะอย่างชัดเจน และมีการจัดการขยะอย่างเป็นระบบ ข้าพเจ้าเคยไปงาน Geneva Festival ซึ่งมีคนมากมาย แน่นอนว่าต้องมีขยะมากมายด้วย แต่ผู้จัดงานใช้วิธีการมัดจำแก้วและกระป๋อง จึงไม่มีใครทิ้งแก้วไว้เกลื่อนกลาด

การขนส่งมวลชนของสวิสนั้นสะดวกสบายมาก ถนนสายหลักไม่กว้างเท่าประเทศไทย แต่อยู่ในสภาพดีและรถไม่ติด คนส่วนใหญ่ไม่ใช้รถส่วนตัว ระบบขนส่งมวลชนนั้นเชื่อมโยงกันหมด ทั้งรถไฟ รถราง เรือ และรถประจำทาง

แต่มีสิ่งหนึ่งที่ข้าพเจ้าไม่ชอบคือ คนที่นี่สูบบุหรี่กันเยอะมาก ตั้งแต่อายุน้อย ๆ เพื่อนข้าพเจ้าบอกว่า บางคนสูบบุหรี่เพราะคิดว่าเป็นเรื่องเท่และทำให้สามารถเข้าสังคมได้ง่าย ข้าพเจ้าไปที่ไหนที่ไม่ใช่ในอาคารก็มักจะพบกับคนสูบบุหรี่ เช่นในร้านอาหาร (ด้านนอกอาคาร) ป้ายรถประจำทาง สถานีรถไฟ ฯลฯ ซึ่งข้าพเจ้าคิดว่า เรื่องนี้ประเทศไทยนั้นดีกว่าเยอะ

วัฒนธรรมของชาวยุโรปอีกอย่างหนึ่งที่ต่างจากประเทศไทยอย่างชัดเจน คือเรื่องการทำงานเวลาค่ำของทุกวันและวันอาทิตย์ของชาวยุโรปนั้นถือเป็นวันหยุด ร้านค้าทุกร้านจึงปิดเร็วในวันธรรมดาและไม่เปิดบริการในวันหยุด ยกเว้นร้านอาหาร ข้าพเจ้าพบว่าร้านค้าต่าง ๆ และห้างสรรพสินค้าก็ปิดทำการในวันชาติสวิส บริการขนส่งมวลชนก็ลดจำนวนรอบในวันหยุดด้วย ซึ่งถ้าเป็นประเทศไทย ห้างต่าง ๆ คงจะขยายเวลาเปิดทำการเพื่อดึงดูดลูกค้า ส่วนขนส่งมวลชนก็คงจะต้องเพิ่มการบริการให้คนเดินทางกลับบ้านหรือเดินทางไปท่องเที่ยวในวันหยุดกัน

สิ่งเหล่านี้ถือเป็นมุมมองอีกแบบหนึ่งที่ข้าพเจ้าไม่เคยได้สัมผัสด้วยตัวเอง ขณะที่อยู่ในประเทศไทย

- **สถานที่**
  - **เซิร์น**

    เป็นที่ที่ข้าพเจ้าอยู่แล้วรู้สึกถึงพลังของความร่วมมือที่ผู้คนมากมายจากหลายสถานที่มาร่วมกันเพื่อทำสิ่งที่ยิ่งใหญ่ด้วยกัน ทุกคนมีความเป็นมืออาชีพ พวกเขาทำงานของตัวเอง ในขณะเดียวกันพวกเขาก็ต้องสร้างกำลังคนในอนาคตขึ้นมาทำงานต่อจากพวกเขาด้วย ซึ่งกำลังเหล่านั้นก็คือพวกนักเรียนอย่างข้าพเจ้านั่นเอง ระหว่างที่ข้าพเจ้าอยู่ที่เซิร์น ข้าพเจ้าได้รับการต้อนรับและความช่วยเหลืออย่างดีจากผู้คนในหน่วยงานต่าง ๆ ของเซิร์น ข้าพเจ้าได้เข้าชมสถานที่ต่าง ๆ ที่น้อยคนจะมีโอกาสได้เข้ามาดู เช่นเครื่องตรวจวัดอนุภาคทั้งสี่ และสถานีทดลองต่าง ๆ โดยการเข้าชมแต่ละครั้งก็มีวิทยากรมาบรรยายและตอบข้อสงสัยของข้าพเจ้าอย่างเต็มที่

○ **เจนีวา**

เมืองที่ถือว่าเป็นแขนข้างหนึ่งของสวิสเซอร์แลนด์ มีองค์กรนานาชาติมากมาย และถือเป็นเมืองที่มีค่าครองชีพสูงติดอันดับต้น ๆ ของโลก ข้าพเจ้าประทับใจในการบริหาร การจัดการด้านต่าง ๆ ของเมือง เจนีวาเป็นเมืองที่สะอาดและมีทัศนียภาพที่สวยมาก คนส่วนใหญ่ที่ข้าพเจ้าพบนั้นใจดีและพูดภาษาอังกฤษได้ ข้าพเจ้าจึงไม่รู้สึกอัดอัดเลย ตัวอย่างเช่น มีบางครั้งที่ข้าพเจ้าต้องอ่านป้าย แต่มีเฉพาะป้ายภาษาฝรั่งเศส ข้าพเจ้าเคยขอความช่วยเหลือให้คนที่อยู่ในบริเวณนั้นแปลให้ ก็มักจะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากคนท้องถิ่น เจนีวาเป็นเมืองที่มีชีวิตชีวาและมีผู้คนอาศัยอยู่มาก ในช่วงเดือนสิงหาคมนั้นมีการจัดงาน Geneva Festival มีการจุดพลุเฉลิมฉลอง วันนั้นเป็นแรกที่ข้าพเจ้าได้เห็นว่ามีคนอาศัยอยู่ในเจนีวามากมายขนาดไหน

○ **สวิสเซอร์แลนด์**

สิ่งที่ข้าพเจ้าไม่พูดถึงไม่ได้คือระบบการขนส่งมวลชน ที่ตรงเวลา สามารถวางแผนการเดินทางได้แน่นอน เชื่อมกันทั้งประเทศและทุกระบบ ทั้งท่าเรือ สถานีรถไฟ ป้ายรถประจำทาง สถานีกระเช้านั้นอยู่ใกล้ ๆ กันหมด ทำให้การเดินทางนั้นสะดวกสบาย ขนส่งมวลชนทุกประเภทมีบริการพิเศษสำหรับผู้พิการ ทางเท้าสำหรับผู้พิการก็มีอยู่ทุกที่ ข้าพเจ้าคิดว่าระบบการขนส่งมวลชนที่ดี เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ผู้คนมีคุณภาพชีวิตและสุขภาพจิตดี

ภูมิประเทศของสวิสเซอร์แลนด์นั้นส่วนใหญ่เป็นภูเขา มีทะเลสาบมากมาย และมีโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่ชัดเจนและสวยงาม ทำให้สวิสเซอร์แลนด์นั้นได้ประโยชน์มากมายจากการท่องเที่ยว อย่างไรก็ตาม สวิสเซอร์แลนด์มีการเก็บภาษีนักท่องเที่ยว มีกฎหมายและการจัดการที่สามารถคงสภาพสถานที่ท่องเที่ยวเหล่านั้นให้สะอาดและสวยงามอยู่เหมือนเดิม จึงทำให้การท่องเที่ยวในสวิสเซอร์แลนด์ได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ

ประสบการณ์ประทับใจที่ได้จากการใช้ชีวิตในสวิสเซอร์แลนด์อีกอย่างหนึ่งของข้าพเจ้าคือภาษา เนื่องจากสวิสเซอร์แลนด์เป็นประเทศที่ประกาศตัวเป็นกลาง มีองค์กรนานาชาติมากมาย เป็นที่อยู่ของคนหลายชาติ และอยู่ติดกับประเทศใหญ่ ๆ ที่มีอิทธิพลค่อนข้างมาก จึงมีวัฒนธรรมหลาย ๆ อย่างอยู่ปนกัน มีการใช้ภาษาหลายภาษา การรถไฟสวิสนั้นมีตัวย่อถึงสามภาษา คือ SBB CFF FFS ซึ่งมีภาษาเยอรมัน ฝรั่งเศสและอิตาเลียน ภาษาที่ใช้มากที่สุดคือภาษาเยอรมัน บางเมืองนั้นมีป้ายทุกอย่างเป็นทั้งภาษาเยอรมันและฝรั่งเศส ส่วนเจนีวาที่ข้าพเจ้าอยู่นั้นอยู่ติดประเทศฝรั่งเศส จึงใช้ภาษาฝรั่งเศส แต่บางครั้งข้าพเจ้าก็พบคนพูดเยอรมันและอิตาเลียน การมาอยู่เจนีวาในครั้งนี้ นอกจากจะได้ใช้ภาษาอังกฤษอย่างเต็มที่แล้ว ข้าพเจ้าก็ยังได้เรียนภาษาฝรั่งเศสจากคนท้องถิ่น และได้เรียนภาษาเยอรมันจากเพื่อน ๆ ของข้าพเจ้าด้วย

3.2 ข้อเสนอแนะ

1. การเตรียมตัวก่อนเข้าร่วมกิจกรรม

การเข้าร่วมกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาคและเครื่องเร่งอนุภาค ก่อนเดินทางมาที่เซิร์นนั้นมีประโยชน์มาก โดยเฉพาะกับผู้ที่ไม่มีพื้นฐานทางด้านฟิสิกส์อนุภาคมาก่อน โดยก่อนเดินทางมาเซิร์น ข้าพเจ้าได้เข้าร่วม ค่ายอนุภาคน้อย 2555, Particle Physics School จัดโดย KEK (องค์กรวิจัยของประเทศญี่ปุ่น), ค่ายวิทยาศาสตร์ซินโครตรอน จัดโดยสถาบันวิจัยแสงซินโคร-

ตรอน (องค์การมหาชน) (SLRI) และการอบรมเตรียมความพร้อมที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งช่วยให้นักศึกษาสามารถฟังบรรยายได้เข้าใจและสามารถค้นคว้าเพิ่มเติมได้ง่ายขึ้น นอกจากความรู้ทางฟิสิกส์แล้ว ควรเตรียมความพร้อมด้านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ อย่างน้อยควรทราบพื้นฐานการใช้ LINUX และภาษาซี

2. การฟังบรรยาย

การบรรยายที่เซิร์นนั้นน่าสนใจทุกหัวข้อ และเป็นภาษาอังกฤษ หากมีข้อสงสัยควรซักถามในห้องหลังจากจบการบรรยายได้เลย และควรอยู่ร่วม discussion session หลังจบการบรรยายในช่วงเช้าด้วย ข้าพเจ้าเห็นว่านักศึกษาสาขาอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ฟิสิกส์จะไม่ค่อยเข้าฟังบรรยาย และนักศึกษาส่วนใหญ่มักออกจากห้องบรรยายเมื่อถึง discussion session แต่ข้าพเจ้าคิดว่าการอยู่ร่วม discussion session ทำให้นักศึกษาสามารถเข้าใจการบรรยายได้มากขึ้น แม้ว่าตัวนักศึกษาเองจะไม่มีคำถามที่จะถามผู้บรรยายโดยตรงก็ตาม

3. การทำงานวิจัย

การเดินทางมาถึงเซิร์นก่อนเริ่มการบรรยายนั้น ทำให้นักศึกษามีเวลาทำงานมากขึ้น เพราะสามารถทำงานได้ทั้งวัน ในช่วงเช้าและช่วงบ่าย แต่นักศึกษาหนึ่งคนควรได้ทำงานกับที่ปรึกษาหนึ่งคน จะได้มีเวลาปรึกษางานกันอย่างเต็มที่ หรืออาจมีกลุ่มทำงานที่สามารถปรึกษาด้วยได้ ในกรณีที่ที่ปรึกษาไม่ว่าง ทำให้สามารถเรียนรู้งานและเข้าใจงานได้เร็วขึ้น หากมีปัญหา จะได้สอบถามและแก้ปัญหาได้อย่างรวดเร็ว รวมทั้งก่อนทำงาน นักศึกษาควรเข้าใจภาพรวมและวางแผนกำหนดระยะเวลาของงานแต่ละขั้นกับที่ปรึกษาให้ชัดเจน เพื่อจะได้ทำความเข้าใจงานให้ดี ทำงานให้สำเร็จและสามาถนำเสนอผลงานที่เซิร์นได้

งานวิจัยสำหรับ summer student นั้นมีให้เลือกหลายแบบ มีทั้งแบบ Hands-on และแบบที่ต้องเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ หน่วยงานที่ summer students เข้าไปทำงานก็มีหลายหน่วยงานเช่นกัน ลักษณะของงานก็มีทั้งทางทฤษฎีและการประยุกต์ ดังนั้นการเลือกหัวข้อวิจัย น่าจะเลือกจากความถนัดหรือความสนใจของนักศึกษาเป็นหลัก

เมื่อเริ่มช่วงการบรรยายแล้ว จะมีกิจกรรมให้ทำเยอะมาก ทั้ง visit และ workshop ต่าง ๆ โดยดูได้จาก e-mail ที่ summer student team ส่งให้ แต่ละกิจกรรมนั้นรับจำนวนจำกัด ต้องคอยติดตามข่าวสาร และแบ่งเวลาให้ดี

4. กิจกรรมใน summer student program

กิจกรรมที่ CERN จัดให้นั้นเป็นโอกาสที่ดีและหาได้ยากมาก เช่นการไปเยี่ยมชมสถานีทดลองและ workshop ต่าง ๆ โดยเฉพาะ workshop นั้นมีหลากหลายสาขา หากสามารถหาเวลาไปร่วมกิจกรรมได้ ก็จะได้ประสบการณ์ที่ดี และแม้ว่า workshop นั้น ๆ จะไม่ตรงกับสาขาที่ทำงานอยู่ แต่การเข้าร่วม workshop นอกสาขาและทำกิจกรรมให้หลากหลาย จะทำให้ได้ความรู้รอบตัวเพิ่มเติมและได้ไอเดียใหม่ ๆ ด้วย

5. ภาษา

การทำงานที่เซิร์นนั้นใช้ภาษาอังกฤษเป็นภาษาหลัก แต่สำหรับพนักงานคนอื่น ๆ และสถานที่ต่าง ๆ นอกเซิร์นนั้นใช้ภาษาฝรั่งเศส เพื่อน ๆ summer student ที่มาอยู่ที่เซิร์นนั้นส่วนใหญ่มีภาษาอังกฤษดี การเข้าร่วมกลุ่มและพูดคุยกับเพื่อนบ่อย ๆ จะทำให้ทักษะภาษาอังกฤษของเราพัฒนาไปด้วย การถามคำถาม ในขณะที่ฟังบรรยายและการไปเยี่ยมชมต่าง ๆ ก็ทำให้เรามีความมั่นใจมากขึ้นเช่นกัน ดังนั้นควรกล้าพูด กล้าถาม ไม่ต้องกังวลเรื่องสำเนียง เพราะคนที่เซิร์นมีหลายสำเนียงมาก แต่ทุกคนก็สื่อสารกันได้อย่างเข้าใจกันดี สำหรับภาษาฝรั่งเศส ควรรู้ประโยคพื้นฐาน เช่นการทักทาย การขอความช่วยเหลือ เพราะจะทำให้เราได้รับความช่วยเหลืออย่างดีจากคนท้องถิ่น ในกรณีที่เราออกไปนอกเซิร์น นอกจากนี้หากได้เรียนรู้คำศัพท์ที่เจอในชีวิตประจำวันบ่อย ๆ จะทำให้ใช้ชีวิตประจำวันสะดวกและสนุกขึ้น

6. ที่พัก

การจองที่พักนั้นสามารถจองได้หลังจากได้จดหมายตอบรับจากเซิร์น สำหรับที่พักที่จองได้นั้น มีให้เลือก 2 แห่ง คือ CERN Hostel และ Foyer Robert Schuman

- CERN Hostel อยู่ในเขตเดียวกับสำนักงานใหญ่ของเซิร์น ใกล้กับโรงอาหาร R1 (Restaurant1) มาก การเดินทางไปเรียนและทำงานสะดวก ตอนเย็นสามารถทำกิจกรรมรวมกับเพื่อน ๆ ได้ เพื่อน ๆ จากประเทศสมาชิกมักจะพักอยู่ที่นี่ หากพักอยู่ในเซิร์นจะสามารถเข้าร่วมกิจกรรมต่าง ๆ ได้สะดวก เพราะกิจกรรมส่วนใหญ่จัดในเซิร์นและตอนเย็น ๆ ก็มักจะมีคนมากมายที่โรงอาหาร สามารถไปพูดคุย หาเพื่อนใหม่ได้ ราคาของ CERN Hostel สูงกว่าห้องพักที่ Schuman แต่สะดวกสบายกว่า รวมทั้งอินเตอร์เน็ตที่เซิร์นนั้นเร็วและเสถียรกว่าที่ Schuman
- Foyer Robert Schuman ห้องพักราคาถูกกว่าฝั่งเซิร์น อยู่ในฝั่งฝรั่งเศส ซึ่งของราคาถูกกว่าฝั่งสวิสเซอร์แลนด์ ใช้เวลาเดินประมาณ 30 นาที หากขี่จักรยาน ใช้เวลาประมาณ 10-15นาที (เซิร์นมีจักรยานให้ยืมฟรี) เงียบสงบ ไม่ค่อยมีคนพลุกพล่าน มีรถรับส่งฟรีในวันทำงาน มีรถประจำทางวิ่งทุกวัน แต่อินเตอร์เน็ตไม่เสถียรและค่อนข้างช้า หากต้องทำงานเขียนโปรแกรมบนอินเตอร์เน็ต จะไม่สามารถทำงานได้เลย

7. อาหาร

โรงอาหารที่เซิร์น เปิดบริการทั้งมื้อเช้า กลางวันและเย็น อาหารราคา 10-15 CHF หากทำอาหารเป็นจะดีมาก เพราะเมื่ออยู่ต่างประเทศนาน ๆ จะคิดถึงอาหารไทย และการทำอาหารไปรับประทานเองจะประหยัดค่าใช้จ่ายไปได้มาก

8. สังคมและวัฒนธรรม

หากทราบข้อมูลพื้นฐานทั่วไปของสถานที่ที่จะมาอยู่ก่อนเดินทางมา จะทำให้เตรียมตัวได้ถูกและเมื่อมาถึงแล้วก็สามารถปรับตัวได้เร็วขึ้น ดังนั้นก่อนเดินทางมาควรศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับสวิสเซอร์แลนด์และเจนีวา เช่น สภาพอากาศ ลักษณะของเมือง ผู้คน การคมนาคม สิ่งที่ห้ามปฏิบัติ ฯลฯ

สำหรับสังคมที่เซิร์นนั้นเป็นสังคมที่น่ารักมาก เพื่อน ๆ ทุกคนที่มา ต่างอยากรู้จักกับเพื่อนใหม่ คนที่ทำงานที่เซิร์นก็ใจดี summer student มักได้รับข้อมูลและการช่วยเหลือเป็นอย่างดี

แผนการดำเนินการหลังเข้าร่วมโครงการ

ข้าพเจ้ามีแผนการศึกษาต่อระดับปริญญาโทและเอกในต่างประเทศ หลังจากทำงานชดใช้ทุนครบตามกำหนดแล้ว (ประมาณปี 2016) ระหว่างที่ทำงานและเตรียมตัวศึกษาต่อ ข้าพเจ้ามีแผนการในการประชาสัมพันธ์เกี่ยวกับงานวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาค ทั้งเซิร์นและโครงการความร่วมมือไทย-เซิร์น โดยการไปบรรยายที่โรงเรียนมัธยม เพื่อแนะนำการวิจัยทางฟิสิกส์อนุภาค รวมถึงการวิจัยทางฟิสิกส์ในด้านอื่น ๆ และสร้างแรงบันดาลใจให้กับเด็กมัธยมให้สนใจการศึกษาในสายวิทยาศาสตร์ เช่นเดียวกับที่ข้าพเจ้าเคยได้รับแรงบันดาลใจในการเรียนฟิสิกส์มาจากช่วงที่เรียนชั้นมัธยม นอกจากนี้จะช่วยประชาสัมพันธ์โครงการความร่วมมือไทย-เซิร์น ในกิจกรรมอบรมและค่ายต่าง ๆ และให้คำแนะนำแก่น้องรุ่นต่อไป

สำหรับการประชาสัมพันธ์การวิจัยทางด้านฟิสิกส์ ระหว่างการเข้าร่วมโครงการ ข้าพเจ้าได้ถ่ายรูปกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งการฟังบรรยาย การเยี่ยมชมสถานีทดลอง และ workshop พร้อมกับเขียนคำบรรยายโดยใช้ภาษาที่คนทั่วไปอ่านเข้าใจได้ง่ายไว้ในอัลบั้มรูปชื่อ CERN บน Facebook ของข้าพเจ้า โดยกำหนดให้เป็นอัลบั้มสาธารณะ อย่างน้อยเพื่อเป็นการประชาสัมพันธ์ให้เพื่อน ๆ และคนรู้จักของข้าพเจ้า ซึ่งมีหลากหลายสาขาอาชีพได้รับรู้ถึงความน่าสนใจ ความสนุกสนาน ความสำคัญของการวิจัยและวิทยาศาสตร์

บทส่งท้าย

เมื่อท่านผู้อ่านได้อ่านรายงานการเข้าร่วมกิจกรรมของข้าพเจ้ามาถึงหน้านี้ ท่านคงจะได้เห็นว่า ระยะเวลา 12 สัปดาห์ที่ข้าพเจ้าได้ร่วมโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเซิร์นนั้น มีกิจกรรมต่าง ๆ เกิดขึ้นมากมาย ข้าพเจ้าได้เห็นโลกที่กว้างขึ้นกว่าเดิมมาก ทั้งในด้านวิชาการ และด้านสังคม อย่างไรก็ตาม แม้ว่าข้าพเจ้าจะพยายามเล่าประสบการณ์ของข้าพเจ้าโดยการเขียนเป็นรายงาน โดยพยายามเขียนให้ผู้อ่านสามารถเข้าใจได้ง่าย เล่าเรื่องที่น่าสนใจ และน่าจะเป็นแรงบันดาลใจให้ผู้อ่าน เริ่มมีความสนใจในการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และฟิสิกส์มากขึ้น แต่ข้าพเจ้าก็ไม่สามารถถ่ายทอดสิ่งที่ข้าพเจ้าพบเจอและได้รับทั้งหมดจากการเข้าร่วมกิจกรรมลงในรายงานเล่มนี้ได้

โอกาสที่ข้าพเจ้าได้รับนั้นถือเป็นประสบการณ์ที่มีค่ามาก ไม่เฉพาะแค่การเข้าร่วมโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเซิร์นเท่านั้น แต่ยังรวมถึงการเข้าร่วมกิจกรรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวกับการศึกษาและวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ ทั้งในประเทศและต่างประเทศด้วย ข้าพเจ้าอยากให้ผู้ที่อ่านรายงานเล่มนี้ได้เป็นผู้มาสัมผัสเอง ข้าพเจ้าคิดว่านอกจากการได้เพิ่มพูนประสบการณ์และความรู้ให้กับตนเองแล้ว การถ่ายทอดให้ผู้อื่นได้ทราบก็มีความสำคัญและมีประโยชน์ไม่แพ้กัน เพื่อเป็นการเสริมสร้างพลังบวกให้กับคนไทยในด้านวิทยาศาสตร์ สังคมไทยของเราจะได้เป็นสังคมวิทยาศาสตร์มากขึ้น

ข้าพเจ้าได้ถ่ายทอดประสบการณ์การเข้าร่วมโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเซิร์นผ่านมุมมองของข้าพเจ้าลงในรายงานเล่มนี้แล้ว และข้าพเจ้าหวังว่าจะได้รับรู้เรื่องราวต่าง ๆ ผ่านมุมมองของท่านผู้อ่านบ้างในอนาคต

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอใช้พื้นที่ในบทส่งท้ายขอบคุณบุคคลกลุ่มหนึ่งที่มีส่วนร่วมและสนับสนุนในความสำเร็จของข้าพเจ้า ตั้งแต่ข้าพเจ้าเริ่มมีความสนใจในวิชาฟิสิกส์ ตลอดจนผู้ที่ได้ช่วยเหลือข้าพเจ้าในการร่วมโครงการครั้งนี้

ขอบคุณโรงเรียนพรหมานุสรณ์จังหวัดเพชรบุรี จุดเริ่มต้นที่ข้าพเจ้ารู้จักวิชาฟิสิกส์ ขอบคุณครูปาล์ม - ครูพิภัช สุขประเสริฐ และคุณครูจิราพร โสภาพันธ์ ครูสอนฟิสิกส์คนแรก ที่ทำให้ข้าพเจ้าเริ่มประทับใจในฟิสิกส์ ตลอดจนคุณครูทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนข้าพเจ้ามา ขอบคุณคุณครูเก็จวลี กรีธาธรและชมรมต้นกล้าเพชรบุรี ที่เป็นจุดเริ่มต้นที่ฝึกฝนทักษะชีวิตและการทำงานให้กับข้าพเจ้า ข้าพเจ้าสามารถผ่านพ้นอุปสรรคและปัญหาต่าง ๆ มาได้ โดยใช้ประสบการณ์ทั้งหลายที่ได้เรียนรู้จากการทำงานในสภานักเรียนและชมรมต้นกล้า

ขอบคุณคุณครูและบุคลากรทุกท่านในโรงเรียนอนุบาลแสงมิตร โรงเรียนวังไกลกังวล และโรงเรียนอนุบาลเพชรบุรี ที่ให้การศึกษาและอบรมสั่งสอน ทำให้ข้าพเจ้ามีพื้นฐานที่ดี สามารถปรับตัวและเรียนรู้ ต่อยอดไปยังขั้นที่สูงขึ้นได้

ขอบคุณคณาจารย์ พี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าในการร่วมกิจกรรมครั้งนี้ ตั้งแต่ขั้นตอนการสมัครเป็นตัวแทนประเทศไทย ข้าพเจ้าภูมิใจและมีความสุขมากที่ได้เรียนอยู่ในภาคฟิสิกส์ มช. ที่เป็นทั้งครอบครัว เป็นบ้านและสถานศึกษาของข้าพเจ้า ขอบคุณพี่ต่อ ดร.นฤพนธ์ ฉัตราภิบาล, พี่ภู และ พี่ปิ๊ก ที่ให้กำลังใจและคำแนะนำในการสมัคร ขอบคุณพี่ดีน - รัฐกร แก้วอ่วม นักศึกษาภาคฤดูร้อนเซิร์น ปี 2555 และเป็นรุ่นพี่ที่น่ารักใน QAO Lab ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษา ทั้งก่อนและตลอดการเข้าร่วมกิจกรรม

ขอบคุณ พี่เก่ง – สาโรชน์ ลี่ดำรงวัฒนากุล และพี่ปริ่ม - ภัทราวรรณ พาสุวรรณ นักศึกษาภาคฤดูร้อนเซิร์น ปี 2556 ที่ให้คำแนะนำในการเข้าร่วมกิจกรรมในครั้งนี้

ขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่เซิร์น ทั้งเพื่อนๆที่เป็น summer students และไม่ใช่ summer students ขอบคุณชาวเจนีวา ชาวสวิสที่ข้าพเจ้าได้พบสำหรับความช่วยเหลือต่างๆ และมิตรภาพดี ๆ

ขอบคุณพี่อ๊อด - คุณอุมารัชนี แก้วบุดตา ที่ดูแล และให้ความช่วยเหลือเพี้ยซอย่างดีมาก ๆ ทั้งก่อน ระหว่าง และหลังการเข้าร่วมโครงการ

ขอบคุณพี่ธร พี่ฝน และพี่เอ ตัวแทนคุณครูเข้าร่วมโครงการครูฟิสิกส์ภาคฤดูร้อนเซิร์น ปี 2557 ที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือเพี้ยซในด้านต่าง ๆ ตั้งแต่การร่วมกิจกรรมเตรียมความพร้อมตลอดจนได้มาร่วมโครงการที่เซิร์น

ขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรณี อจลากุล อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้คำแนะนำถ่ายทอดประสบการณ์อันมีค่ามากมายระหว่างช่วงเวลาสามสี่วันที่เราได้พบกันที่สวิสเซอร์แลนด์ เพี้ยซมีความสุขมากค่ะ ขอบคุณที่ให้คำแนะนำและให้กำลังใจเพี้ยซนะคะ ☺

ขอบคุณพี่กวาง - ศรันยา ภุมมา พี่เบิร์ด - บุญฤทธิ์ จันทร์ไกรวัล และมิลค์ - อภิชญาพร รัตคธา ที่เดินทางไปด้วยกัน ทำกิจกรรมด้วยกันทุกอย่าง มีความสุขด้วยกัน มีความทุกข์ก็ปลอบใจกัน ช่วยเหลือกันเสมอมา ทั้งเรื่องงานและเรื่องอื่น ๆ ทุกวันเป็นวันเวลาที่ดีมาก ขอบคุณสำหรับมิตรภาพและความเป็นพี่น้อง ขอบคุณที่ทนกินอาหารฝีมือเพี้ยซหมดทุกมื้อเลย :P สิบสัปดาห์ที่เราอยู่ด้วยกันเพี้ยซรู้สึกเหมือนเราเป็นพี่น้องกันจริง ๆ แม้ว่าหลังจากนี้เราจะไม่ได้เจอกันทุกวัน แต่เราก็จะติดต่อกันอยู่เสมอนะคะ ☺☺

ขอบคุณปัญหาและอุปสรรคทุกอย่างที่เกิดขึ้น ทำให้ข้าพเจ้าได้เรียนรู้และพัฒนาตัวเองไปอีกขั้น

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคุณพ่อพลเทพ ทับศรีนวล คุณแม่รุจิรา ทับศรีนวล น้องสาว นศพ.คณวรรณ ทับศรีนวล และครอบครัวของข้าพเจ้าอีกครั้ง ที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนข้าพเจ้าตลอดมา

ขอบคุณค่ะ
☺☺☺☺