บันทึกประสบการณ์และการเรียนรู้จากการเข้าร่วม
โครงการอบรมครูฟิสิกส์ภาคฤดูร้อนเซิร์น ประจำปี 2554

จัดทำโดย

นายลือชา ลดาชาติ

โรงเรียนสายบุรี “แจ้งประชาคาร” จังหวัดปัตตานี

คำอุทิศ

หากรายงานฉบับนี้มีประโยชน์ต่อบุคคลต่างๆ แม้เพียงเล็กน้อย ผู้เขียนขออุทิศประโยชน์ทั้งหมดนั้นให้แก่บิดาและมารดา ผู้ให้กำเนิดและเลี้ยงดูผู้เขียนด้วยความรักและเอาใจใส่ตลอดมา

คำนำ

ทันทีที่ผู้เขียนทราบว่า ตนเองได้รับคัดเลือกให้เข้าร่วม “โครงการอบรมครูฟิสิกส์ภาคฤดูร้อนเซิร์น” ประจำปี พ.ศ. 2554 ผู้เขียนรู้สึกดีใจและเป็นเกียรติอย่างบอกไม่ถูก แต่เมื่อเวลาผ่านไปไม่ถึงครึ่งชั่วโมง ความรู้สึกเหล่านั้นกลับเปลี่ยนเป็นความตระหนักถึงความรับผิดชอบที่ยิ่งใหญ่ ในการศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาคและงานวิจัยที่เซิร์นกำลังทำอยู่ เพื่อเผยแพร่ความรู้นั้นแก่ผู้ที่สนใจ โดยเฉพาะนักเรียนและครูฟิสิกส์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ความตระหนักดังกล่าวเป็นแรงจูงใจสำคัญให้ผู้เขียนจัดทำรายงานฉบับนี้ ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า การอ่านรายงานฉบับนี้คงเป็นประโยชน์บ้างไม่มากก็น้อย หากมีข้อผิดพลาดหรือข้อบกพร่องประการใดในรายงานฉบับนี้ ผู้เขียนขอน้อมรับไว้และพร้อมจะปรับปรุงแก้ไขเพื่อสาธารณประโยชน์ต่อไป

ด้วยเจตนาดี

ลือชา ลดาชาติ

23 สิงหาคม 2554

สารบัญ

สารบัญภาพ

สารบัญตาราง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอแสดงความสำนึกในพระมหากรุณาธิคุณของสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ที่ทรงมอบโอกาสอันยิ่งใหญ่แก่ผู้เขียนในการเข้าร่วม “โครงการอบรมครูฟิสิกส์ภาคฤดูร้อนเซิร์น” ประจำปี พ.ศ. 2554

ผู้เขียนขอแสดงความขอบคุณคณะบุคคลและทุกหน่วยงานในประเทศไทย ที่ริเริ่มและดำเนิน “โครงการคัดเลือกนักศึกษาและครูสอนฟิสิกส์ เพื่อไปเข้าร่วมโปรแกรมภาคฤดูร้อนเซิร์น” จนประสบผลสำเร็จ

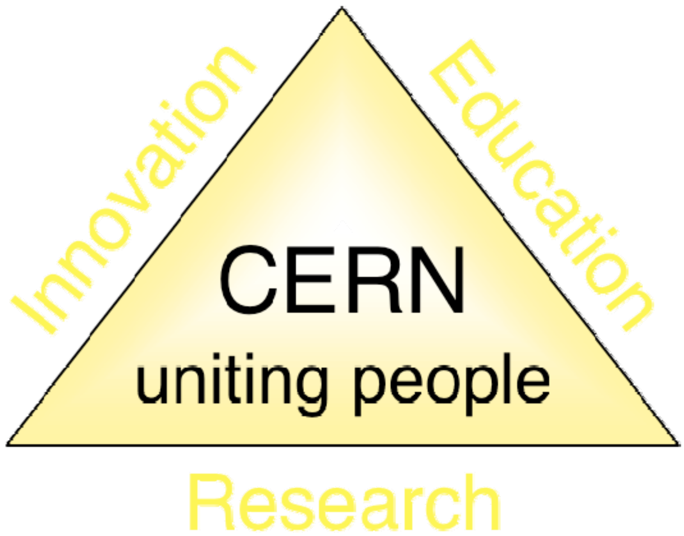
ผู้เขียนขอขอบคุณบุคคลากรของเซิร์น ที่ดำเนิน “โครงการอบรมครูฟิสิกส์ภาคฤดูร้อนเซิร์น” ประจำปี พ.ศ. 2554 และอำนวยความสะดวกแก่ผู้เขียนตลอดช่วงเวลาของการอบรม

ผู้เขียนขอขอบคุณบุคคลากรและนักเรียนโรงเรียนสายบุรี “แจ้งประชาคาร” จังหวัดปัตตานี ที่สนับสนุนการเข้าร่วม “โครงการอบรมครูฟิสิกส์ภาคฤดูร้อนเซิร์น” ประจำปี พ.ศ. 2554

ผู้เขียนขอขอบคุณสมาชิกในครอบครัวของผู้เขียน ที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจในทุกเรื่องดีที่ผู้เขียนมุ่งมั่นและตั้งใจทำให้เกิดผลสำเร็จ

บทที่ 1: เซิร์น

เซิร์น (CERN) เป็นองค์กรวิจัยที่เกิดจากความร่วมมือของประเทศต่างๆ ในทวีปยุโรป เซิร์นมีพันธกิจ 4 ประการ คือ 1. การวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์อนุภาคและจักรวาลวิทยา 2. การพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่อการวิจัยทางฟิสิกส์อนุภาคและจักรวาลวิทยา 3. การส่งเสริมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เพื่อผลิตนักวิทยาศาสตร์ในอนาคต และ 4. การหลอมรวมผู้คนและวัฒนธรรมจากประเทศต่างๆ ให้เป็นเอกภาพ (Heuer, 2011) ภาพที่ 1 แสดงพันธกิจทั้ง 4 ประการของเซิร์น ในปัจจุบันผู้ที่ดำรงตำแหน่งผู้อำนวยการของเซิร์น คือ รอล์ฟ ฮอยเออร์ (Rolf Heuer) (CERN, 2011a)



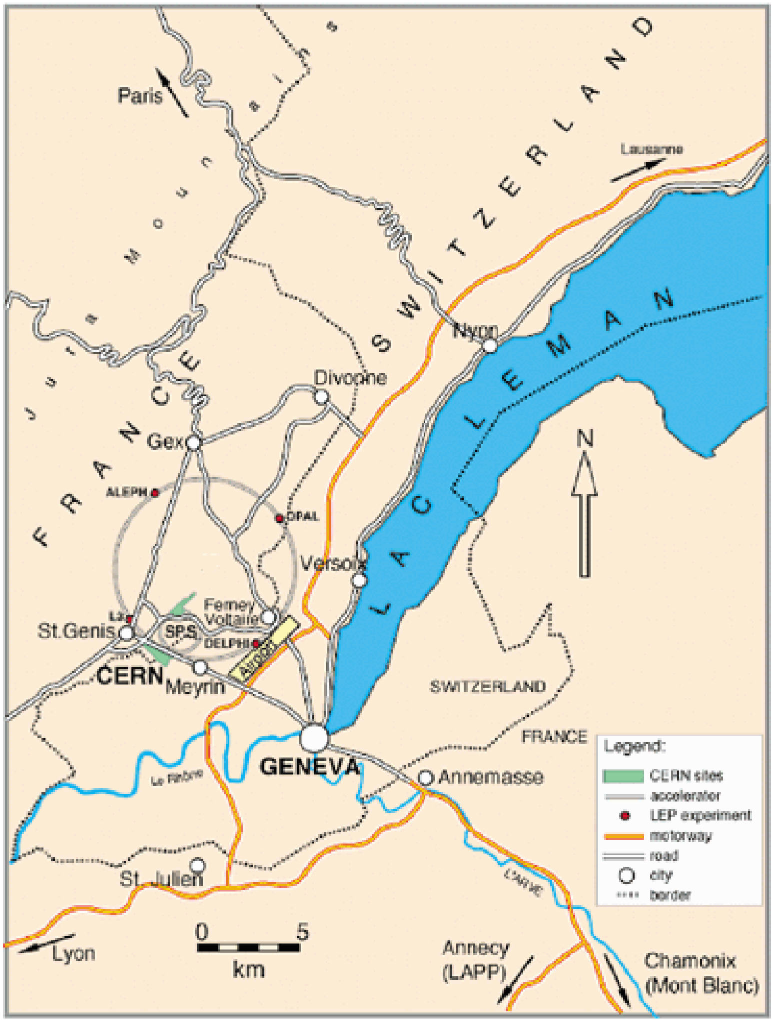
ภาพที่ 1: พันธกิจของเซิร์น
ที่มา: Heuer (2011#2)

เซิร์นได้รับการก่อตั้งอย่างเป็นทางการเมื่อปี ค.ศ. 1954 โดยมีประเทศสมาชิกในขณะนั้นจำนวน 12 ประเทศ ในปัจจุบันจำนวนประเทศสมาชิกของเซิร์นเพิ่มขึ้นเป็น 20 ประเทศ คือ

1. ออสเตรีย	2. เบลเยี่ยม	3. บัลแกเรีย	4. สาธารณรัฐเช็ก
5. เดนมาร์ก	6. ฟินด์แลนด์	7. ฝรั่งเศส	8. เยอรมนี
9. กรีซ	10. ฮังการี	11. อิตาลี	12. เนเธอร์แลนด์
13. นอร์เวย์	14. โปแลนด์	15. โปรตุเกส	16. สโลวาเกีย
17. สเปน	18. สวีเดน	19. สวิตเซอร์แลนด์	20. สหราชอาณาจักร

โดยมีโรมาเนียเป็นอีก 1 ประเทศที่อยู่ในระหว่างการพิจารณาให้เข้าร่วมเป็นประเทศสมาชิก นอกจากนี้ เซิร์นยังมีอีก 6 ประเทศ คือ อินเดีย อิสราเอล ญี่ปุ่น สหพันธรัฐรัสเซีย สหรัฐอเมริกา และตุรกี และ 2 หน่วยงานระหว่างประเทศ คือ องค์การการศึกษาวิทยาศาสตร์และวัฒนธรรมแห่งสหประชาชาติ (The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) และ คณะกรรมธิการยุโรป (The European Commission) ที่เป็นผู้สังเกตการณ์[1]

ที่ทำการของเซิร์นตั้งอยู่ที่เมืองเจนีวา ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ พื้นที่ของเซิร์นครอบคลุมพื้นที่บริเวณชายแดนระหว่างประเทศสวิตเซอร์แลนด์และประเทศฝรั่งเศส ภาพที่ 2 แสดงแผนที่ตั้งของเซิร์น



ภาพที่ 2: แผนที่ตั้งของเซิร์น

ที่มา: http://images.iop.org/objects/ccr/cern/39/5/13/cern1_6-99.gif

[1] ประเทศหรือหน่วยงานที่เป็นผู้สังเกตการณ์สามารถเข้าร่วมประชุมและเข้าถึงข้อมูลของเซิร์นได้ แต่ไม่มีส่วนร่วมในการตัดสินใจในกิจการต่างๆ ของเซิร์น (CERN, 2008a)

เซิร์นเป็นชื่อที่ใช้เรียกองค์กรฯ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1952 ชื่อดังกล่าวได้มาจากตัวอักษรนำหน้าชื่อเต็มเฉพาะกาลขององค์กรฯ ในภาษาฝรั่งเศสที่ว่า “**C**onseil **E**uropeene pour la **R**echerche **N**ucleaire” หรือ “ที่ประชุมแห่งยุโรปเพื่อการวิจัยนิวเคลียร์” (แปลโดย บุรินทร์ และนรพัทธ์, 2552: 17) แม้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงชื่อเต็มอย่างเป็นทางการขององค์กรฯ เป็น “Organisation Europeenne pour la Recherche Nucleaire” (ภาษาฝรั่งเศส) หรือ “European Organisation for Nuclear Research” (ภาษาอังกฤษ) หรือ “องค์กรแห่งยุโรปเพื่อการวิจัยนิวเคลียร์” ในอีก 2 ปีต่อมา และแม้ว่าในปัจจุบันเซิร์นแทบไม่ได้ทำงานวิจัยทางฟิสิกส์นิวเคลียร์ ชื่อย่อเดิมขององค์กรฯ—เซิร์น—ยังคงได้รับการเรียกขานจนถึงปัจจุบัน ชื่อย่อดังกล่าว[2] ยังปรากฏอยู่ในสัญลักษณ์ขององค์กรฯ ดังแสดงบนหน้าปกของรายงานฉบับนี้

ในปัจจุบัน เซิร์นถูกจัดว่าเป็นองค์กรวิจัยที่มีเทคโนโลยีสำหรับการศึกษาปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์อนุภาคที่ใหญ่ ซับซ้อน และทรงพลังแห่งหนึ่งของโลก หากกล่าวโดยย่อ เทคโนโลยีดังกล่าวประกอบด้วยเครื่องแยกอนุภาคออกจากอะตอมของธาตุ เครื่องเร่งอนุภาคให้มีพลังงานระดับต่างๆ เครื่องตรวจวัดอนุภาคแบบต่างๆ และระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์และจัดการข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ตลอดจนระบบส่งเสริมและประกันคุณภาพการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ (รายละเอียดของเทคโนโลยีเหล่านี้อยู่ในบทที่ 3) ด้วยเหตุนี้ เซิร์นจึงเป็นองค์กรวิจัยที่รวมนักฟิสิกส์ทั้งทางทฤษฎีและทางการทดลอง วิศกรและช่างเทคนิคสาขาต่างๆ ตลอดจนคณาจารย์และนักศึกษาฟิสิกส์จำนวนมาก ผู้คนเหล่านี้มีความสนใจร่วมกันในการตอบคำถามที่ว่า “สสารประกอบขึ้นจากอะไร และแรงที่ยึดสสารเข้าไว้ด้วยกันนั้นมีสมบัติอย่างไร” (บุรินทร์ และนรพัทธ์, 2552: 23) คำตอบของคำถามเหล่านี้สามารถนำไปสู่การไขความลับเกี่ยวกับการกำเนิดและวิวัฒนาการของจักรวาล (Beech, 2010)

เซิร์นมีเครื่องเร่งอนุภาคหลายขนาดที่สามารถเร่งอนุภาคให้มีพลังงานสูงขึ้นเป็นลำดับ เครื่องเร่งอนุภาคขนาดใหญ่และมีชื่อเสียงที่สุดของเซิร์นในปัจจุบัน คือ“เครื่องเร่งฮาดรอน[3]แบบปะทะขนาดใหญ่” (The Large Hadron Collider: LHC) เครื่องเร่งอนุภาคดังกล่าวเป็นเครื่องเร่งอนุภาคแบบวงกลม ซึ่งมีเส้นรอบวงประมาณ 27 กิโลเมตร และอยู่ใต้ดินที่ความลึกเฉลี่ยประมาณ 100 เมตร ภายในเครื่องเร่งฮาดรอนแบบปะทะขนาดใหญ่นี้ มีวงโคจรสุญญากาศ 2 วง ซึ่งเร่งกลุ่มอนุภาคโปรตอน (ซึ่งเป็นฮาดรอนชนิดหนึ่ง) ให้เคลื่อนที่สวนกันในวงโคจรแต่ละวง จนกระทั่งอนุภาคโปรตอน

[2] เพื่อความสะดวกในการอ้างถึง ผู้เขียนขอใช้ชื่อย่อ (เซิร์น) แทนการใช้ชื่อเต็มอย่างเป็นทางการ (องค์กรแห่งยุโรปเพื่อการวิจัยนิวเคลียร์) ในรายงานฉบับนี้

[3] ฮาดรอน (Hadron) คืออนุภาคที่ประกอบด้วยอนุภาคมูลฐานที่เรียกว่าควาร์ก (Quark) ตัวอย่างของฮาดรอนคือโปรตอน (Proton) และนิวตรอน (Neutron)

แต่ละตัวมีพลังงานประมาณ 7 x 10^{12} อิเล็กตรอนโวลต์[4] จากนั้นกลุ่มอนุภาคโปรตอนในวงโคจรทั้ง 2 วงจะถูกควบคุมให้เคลื่อนที่มาปะทะหรือชนกัน ณ บริเวณเครื่องตรวจวัดอนุภาค นักฟิสิกส์คาดหวังว่า การชนกันของกลุ่มอนุภาคโปรตอนเหล่านี้จะให้ข้อมูลที่สำคัญ อันนำไปสู่การตอบคำถามเกี่ยวกับอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบมูลฐานของสสาร[5] และแรงที่กระทำอนุภาคมูลฐานเหล่านั้น

เนื่องจากงานวิจัยฟิสิกส์อนุภาคเป็นงานวิจัยที่ล้ำสมัยและต้องอาศัยเทคโนโลยีที่ซับซ้อน ความเจริญก้าวหน้าของงานวิจัยในสาขานี้จึงต้องอาศัยนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรจำนวนมาก ผู้ซึ่งร่วมกันศึกษาปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์อนุภาคอย่างต่อเนื่องและยาวนาน ความเจริญก้าวหน้าดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ยาก หากการผลิตนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรรุ่นใหม่ไม่เพียงพอหรือไม่ทันกับความต้องการ ด้วยเหตุนี้ เซิร์นจึงมีพันธกิจด้านการศึกษา ที่ส่งเสริมการเรียนรู้ของเยาวชนและบุคคลทั่วไปเกี่ยวกับงานวิจัยฟิสิกส์อนุภาค (Heuer, 2011) “โครงการอบรมครูฟิสิกส์ภาคฤดูร้อนเซิร์น” (CERN: High School Physics Teacher Pragramme) เป็นหนึ่งในหลายโครงการที่ตอบสนองพันธกิจทางการศึกษานั้น เซิร์นคาดหวังว่า ครูที่เข้าร่วมโครงการดังกล่าวจะสามารถสร้างความสนใจและเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาคและงานวิจัยของเซิร์นให้แก่เยาวชน (Storr, 2011) ผู้ซึ่งจะมาต่อยอดความสำเร็จของนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรของเซิร์นรุ่นปัจจุบัน

บทที่ 2 เป็นการกล่าวถึงรายละเอียดของ “โครงการอบรมครูฟิสิกส์ภาคฤดูร้อนเซิร์น” และความเป็นมาของการส่งครูฟิสิกส์ไทยไปเข้าร่วมโครงการดังกล่าว

---

[4] อิเล็กตรอนโวลต์ (Electron Volt: eV) เป็นหน่วยของพลังงาน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.6 x 10^{-19} จูล (Joule: J)

[5] อนุภาคมูลฐาน (Fundamental particles) หมายถึง อนุภาคที่ไม่มีโครงสร้างภายใน และไม่สามารถแยกย่อยออกเป็นองค์ประกอบอื่นๆ ได้อีก

บทที่ 2: โครงการอบรมครูฟิสิกส์ภาคฤดูร้อนเซิร์น

เซิร์นได้ดำเนิน “โครงการอบรมครูฟิสิกส์ภาคฤดูร้อนเซิร์น” ตามพันธกิจด้านการศึกษามาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541 จนถึงปัจจุบัน (พ.ศ. 2554) (CERN, 2011) เป้าหมายของโครงการฯ คือ การได้ครูฟิสิกส์ที่มีความรู้เกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาคและงานวิจัยที่เซิร์นกำลังทำอยู่ และสามารถเผยแพร่ความรู้เหล่านั้นแก่นักเรียนและบุคคลทั่วไปด้วยความมั่นใจและกระตือรือร้น[6] (Storr, 2011) การดำเนินโครงการฯ เกิดขึ้นในช่วงเดือนกรกฎาคมของทุกปี โดยใช้เวลาประมาณ 3 สัปดาห์ กิจกรรมหลักของโครงการฯ (แม้ว่าอาจมีการเปลี่ยนแปลงบ้างเล็กน้อยในแต่ละปี) ประกอบด้วยการบรรยายหัวข้อต่างๆ เกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาค การเยี่ยมชมสถานที่ทดลองจริง กิจกรรมการทดลองในห้องปฏิบัติการ การทำงานกลุ่มตามความสนใจ และกิจกรรมสันทนาการ ในปัจจุบันผู้ที่รับผิดชอบดูแลโครงการฯ คือ ดร. มิกค์ สโตร์ (Dr. Mick Storr) เว็บไซต์ของโครงการฯ ซึ่งเก็บรวบรวมผลงานของครูที่เข้าร่วมโครงการฯ ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงปัจจุบัน คือ http://teachers.web.cern.ch/

แม้ว่าใน 2 ปีแรก (พ.ศ. 2541-2542) มีเพียงครูจากประเทศสมาชิกเท่านั้นที่ได้เข้าร่วมโครงการฯ แต่ในปีต่อๆ มา ครูจากประเทศที่ไม่ใช่ประเทศสมาชิก (รวมทั้งครูจากประเทศไทย) ก็ได้รับโอกาสเข้าร่วมโครงการฯ มากขึ้น ในกรณีของประเทศไทย จวบจนปัจจุบัน มีครู 4 คนที่ได้เข้าร่วมโครงการฯ โดยครู 2 คน (ครูพิมพร ผาพรม และครูสุพัตรา ทองเนื้อห้า) ได้เข้าร่วมโครงการฯ ในปี พ.ศ. 2553 และครูอีก 2 คน (ครูอนุชา ประทุมมา และครูลือชา ลดาชาติ—ผู้เขียนรายงานฉบับนี้) ได้เข้าร่วมโครงการฯ ในปี พ.ศ. 2554 โอกาสการเข้าร่วมโครงการฯ ของครูทั้ง 4 คนเกิดขึ้นจากพระบารมีและสายพระเนตรที่กว้างไกลของสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ที่ทรงมีพระราชประสงค์ให้ครูฟิสิกส์ไทยได้เข้าร่วมโครงการฯ เพื่อพัฒนาความรู้และร่วมกิจกรรมวิชาการกับครูและนักฟิสิกส์ที่มีชื่อเสียงจากทั่วโลก สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) (2553: 1) เล่าถึงความเป็นมาของการส่งครูฟิสิกส์ไทยไปเข้าร่วมโครงการฯ ดังนี้

> “เมื่อครั้งที่สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ได้เสด็จพระราชดำเนินเยือนเซิร์น ... เมื่อวันที่ 16 มีนาคม 2552 นั้น ได้มีการลงนามในเอกสารแสดงเจตจำนงที่จะมีความร่วมมือกันระหว่างสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) และเซิร์น โดยมีจุดประสงค์เพื่อแสวงหาความร่วมมือ ในการส่งนักศึกษาและครูฟิสิกส์ไทยไปร่วมโครงการภาคฤดูร้อน ... สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) จึงได้ร่วมกับ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การ

[6] ครูที่เข้าร่วมในโครงการฯ ได้รับการคาดหวังให้ทำหน้าที่เสมือนเป็น “ทูตของเซิร์น” (Storr, 2011#9)

มหาชน) สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และบริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) จัดทำ**โครงการคัดเลือกนักศึกษาและครูสอนฟิสิกส์ เพื่อไปเข้าร่วมโปรแกรมภาคฤดูร้อนเซิร์น** เพื่อคัดเลือกนักศึกษาและครูสอนฟิสิกส์ที่มีศักยภาพและคุณสมบัติเหมาะสมในขั้นต้น แล้วนำความขึ้นกราบบังคมทูลสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เพื่อทรงคัดเลือกนักศึกษา 2 คน และครูสอนฟิสิกส์ 2 คน ในขั้นตอนสุดท้าย ให้เป็นตัวแทนประเทศไทยไปเข้าร่วมกิจกรรมดังกล่าว” [ตัวหนาเป็นไปตามเอกสารต้นฉบับ]

“โครงการอบรมครูฟิสิกส์ภาคฤดูร้อนเซิร์น” ประจำปี พ.ศ. 2554 มีครูเข้าร่วมโครงการฯ ทั้งสิ้น 49 คน จาก 27 ประเทศ ตารางที่ 1 แสดงจำนวนครูที่เข้าร่วมโครงการฯ จากแต่ละประเทศ

ตารางที่ 1: จำนวนและรายชื่อครูที่เข้าร่วมโครงการฯ จากแต่ละประเทศ

ลำดับที่	ชื่อ-นามสกุล	ประเทศ
1	Ilias Kalogirou	กรีซ
2	Edmund Ilimoan Yamba	กานา
3	Paulina Adubea Anim	
4	Peter Otin	เคนยา
5	Peter Vogel	แคนาดา
6	Elie Talon Louokdom	แคเมอรูน
7	Nobuyuki Hirakata	ญี่ปุ่น
8	Huseyin Hakan Ozdemir	ตุรกี
9	Matthijs van Vulpen	เนเธอร์แลนด์
10	Ana Serio	บราซิล
11	Maelle Richard	เบลเยี่ยม
12	Aneta Marinova	บัลแกเรีย
13	Antonio Jorge Fonte	โปรตุเกส
14	Ines Maria Vitorino Leitao	
15	Anucha Pratumma (อนุชา ประทุมมา)	ไทย
16	Luecha Ladachart (ลือชา ลดาชาติ)	
17	Renaud Hennino	ฝรั่งเศส
18	Minna Saloviin	ฟินแลนด์
19	Panu Viitanen	

ลำดับที่	ชื่อ-นามสกุล	ประเทศ
20	Voahangy Noroharimanana Ramaroson	มาดากัสการ์
21	Abdelaziz Razouki	โมรอคโค
22	Hmida Chikhaoui	
23	Klaus Schroeder	เยอรมนี
24	Otmar Winkler	
25	Albert Bizage Nsabimana	รวันดา
26	Emmanuel Hagaburimana	
27	Damascene Ndagijimana	
28	Jean de Dieu Hakizayezu	
29	Gabriel State	โรมาเนีย
30	Ionna Stoica	
31	Luviu Ionescu	
32	Chad Ronish	สหรัฐอเมริกา
33	Deborah Lilly	
34	Jeremy Smith	
35	Nate Unterman	
36	Tom Gallo	
37	Michael Meatyard	สหราชอาณาจักร
38	Nicola Kersley	
39	Shona Macleod	
40	Maria Fabiola Lacueva Perez	สเปน
41	Tatania Pohorelska	สโลวาเกีย
42	Carolyn Hutchens	ออสเตรเลีย
43	Kim Northmore	
44	Elle Klooster	เอสโตเนีย
45	Rain Vellerino	
46	Francesca Della Vedova	อิตาลี
47	Francesca Sartogo	
48	Hezi Yizhaq	
49	Ivana Scotto Di Santolo	

การดำเนินโครงการฯ เกิดขึ้นในระหว่างวันที่ 3 – 22 กรกฎาคม พ.ศ. 2554 เป็นจำนวนทั้งสิ้น 20 วัน ตารางที่ 2 แสดงกิจกรรมของโครงการฯ ในแต่ละวัน

ตารางที่ 2: กิจกรรมของโครงการฯ ในแต่ละวัน

วัน	**เวลา**	**กิจกรรม**	**วิทยากร/ผู้ดำเนินการ**
3 ก.ค. 2554	16.30 – 17.30 น.	Welcome Reception	Mick Storr
	17.30 – 18.30 น.	Short Site Tour	
	18.30 – 19.30 น.	Practical Information	
4 ก.ค. 2554	08.30 – 09.00 น.	Registration	Maureen Prola-Tessaur
	09.00 – 09.30 น.	CERN Education	Mick Storr
	09.30 – 10.15 น.	Audio-visual Introduction to CERN	
	10.30 – 12.30 น.	Team Building	
	14.00 – 15.00 น.	Team Building (Continued)	
	15.30 – 17.00 น.	Microcosm Visit	
	17.00 – 17.45 น.	Visit Evaluation	
5 ก.ค. 2554	08.30 – 12.30 น.	DELPHI and LHCb Visits	Sascha Schmeling and Martin Hawner
	14.00 – 15.30 น.	Introduction to Particle Physics (Part 1/4)	Rolf Landua
	15.30 – 17.00 น.	Globe Visit	Mick Storr
	17.00 – 17.45 น.	Visit Evaluation	
	18.30 – 23.00 น.	Pool and Pizza	
6 ก.ค. 2554	08.30 – 10.00 น.	Introduction to Detectors (Part 1/2)	Frank Hartmann
	10.00 – 10.45 น.	Introduction to CERN	Rolf Heuer (CERN's General Director)
	11.00 – 12.00 น.	Introduction to Particle Physics (Part 2/4)	Rolf Landua
	14.00 – 17.00 น.	CMS Visit	Zoltan Szillasi and Noemi Beni
	17.00 – 20.00 น.	Welcome Drink	-
7 ก.ค. 2554	09.00 – 10.30 น.	Tutorial: Energy Violation	Goronwy Jones
	10.30 – 12.00 น.	Building a Cloud Chamber	Mick Storr

วัน	เวลา	กิจกรรม	วิทยากร/ผู้ดำเนินการ
	14.00 – 15.30 น.	Introduction to Detectors (Part 2/2)	Frank Hartmann
	15.30 – 16.30 น.	Introduction to Particle Physics (Part 3/4)	Rolf Landua
	16.30 – 17.30 น.	Lecture Review and Discussion	-
8 ก.ค. 2554	09.30 – 10.30 น.	Introduction to Particle Physics (Part 4/4)	Rolf Landua
	10.30 – 11.30 น.	Lecture Review and Discussion	-
	11.30 – 12.30 น.	Q/A: Particle Physics	Rolf Landua
	13.30 – 14.30 น.	Tutorial: Calculating Mass	Goronwy Jones
	14.30 – 15.30 น.	Introduction to Teachers Lab	Sascha Schmeling
	15.30 – 16.30 น.	B40 Visit	Mick Storr
	16.30 – 17.30 น.	Presentation of Working Groups	-
9 ก.ค. 2554	ว่าง		
10 ก.ค. 2554	13.00 – 23.00 น.	Geneva Treasure Hunt	Mick Storr
11 ก.ค. 2554	09.00 – 10.00 น.	Bubble Chamber Tutorial	Goronwy Jones
	10.30 – 11.30 น.	Key Concepts of Particle Physics (Part 1/2)	Michelangelo Mangano
	11.30 – 12.30 น.	Introduction to Cosmology (Part 1/2)	Geraldine Servant
	14.00 – 15.00 น.	Introduction to Accelerators (Part 1/2)	Simone Gilardoni
	15.00 – 16.00 น.	Reflection	-
	16.00 – 16.30 น.	Selection of Working Groups	Mick Storr
12 ก.ค. 2554	09.00 – 10.00 น	Introduction to Cosmology (Part 2/2)	Geraldine Servant
	14.00 – 15.00 น.	Introduction to Accelerators (Part 2/2)	Simone Gilardoni
13 ก.ค. 2554	09.00 – 10.00 น.	Key Concepts of Particle Physics (Part 2/2)	Michelangelo Mangano
	16.00 – 17.00 น.	Tutorial: The Evolution of Western Ways of Thinking (Part 1/2)	Goronwy Jones

วัน	เวลา	กิจกรรม	วิทยากร/ผู้ดำเนินการ
14 ก.ค. 2554	14.30 – 15.30 น.	Introduction to Antimatter	Rolf Landua
	16.00 – 16.30 น.	Cool Apps	Joao Pequenao and Neng Xu
	16.30 – 17.30 น.	Accelerator Q/A	Simone Gilardoni
15 ก.ค. 2554	14.00 – 15.00 น.	Medical Applications of Particle Physics	Manjit Dosanjh
	16.00 – 17.00 น.	Q/A: Key Concepts of Particle Physics	Michelangelo Mangano
16 ก.ค. 2554	ว่าง		
17 ก.ค. 2554			
18 ก.ค. 2554	09.00 – 11.30 น.	Perimeter Institute Workshop	Greg Dick and Dave Fish
	13.00 – 15.30 น.	Perimeter Institute Workshop (Continued)	
	19.00 – 00.00 น.	International Evening	-
19 ก.ค. 2554	15.00 – 16.00 น.	Let's Talk about Books	-
	16.00 – 17.00 น.	CERN's Black Swan	Ben Segal
20 ก.ค. 2554	11.30 – 12.30 น.	Tutorial: The Evolution of Western Ways of Thinking (Part 2/2)	Goronwy Jones
	15.30 – 16.30 น.	Gaugin and CERN	Jonathan Ellis
	18.15 – 21.30 น.	Visits: Magnet Factory and CERN Control Room	Mick Storr
21 ก.ค. 2554	15.00 – 15.45 น.	Introduction to Master Classes	Konrad Jende
21 ก.ค. 2554	09.00 – 12.00 น.	Reports from the Working Groups	-
	14.00 – 16.00 น.	Reports from the Working Groups (Continued)	-
	19.00 – 00.00 น.	Farewell Barbecue	-

กิจกรรมของโครงการฯ ในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 เน้นการบรรยายเพื่อให้ข้อมูลพื้นฐานแก่ครูที่เข้ารับการอบรม ขณะที่กิจกรรมของโครงการฯ ในสัปดาห์ที่ 3 เน้นการทำงานกลุ่มตามความสนใจของครู ซึ่งประกอบด้วย 1. กิจกรรมเฉพาะเจาะจงสำหรับครูที่มีความคิดชัดเจนในสิ่งที่ตนเองต้องการจะทำ เช่น การพัฒนาโปรแกรมจำลอง (Simulation) บนโทรศัพท์มือถือ และการพัฒนาโปรแกรมพักหน้าจอคอมพิวเตอร์ (Screen Saver) ที่แสดงปรากฏการณ์ฟิสิกส์อนุภาค 2. กิจกรรมการทดลองใน

ห้องปฏิบัติการ 3. การพัฒนาสื่อและแหล่งการเรียนรู้ และ 4. การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (Inquiry-based Learning) โดยในระหว่างนี้ อาจมีการเยี่ยมชมสถานที่จริงบ้าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสะดวกของผู้ดูแลสถานที่ และสภาพอากาศ

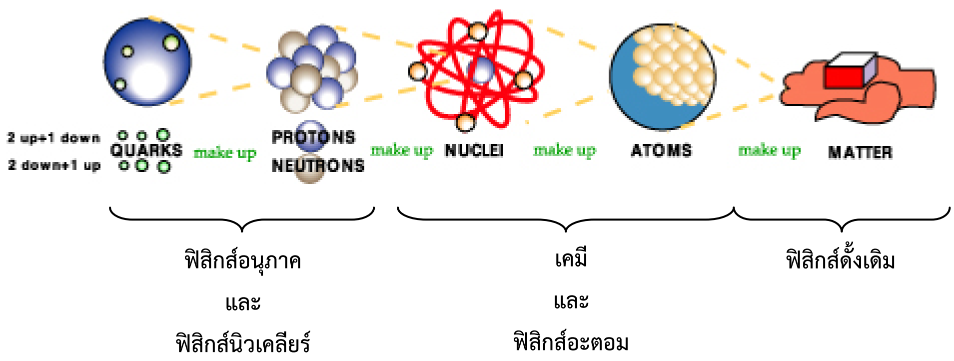
บทที่ 3 และบทที่ 4 เป็นบทสรุปสิ่งที่ผู้เขียนได้เรียนรู้จากการเข้าร่วมกิจกรรมต่างๆ ของโครงการฯ

บทที่ 3: สิ่งที่ได้เรียนรู้จากการเข้าร่วมโครงการฯ

การเข้าร่วม "โครงการอบรมครูฟิสิกส์ภาคฤดูร้อนเซิร์น" ประจำปี พ.ศ. 2554 ทำให้ผู้เขียนได้เรียนรู้เนื้อหาต่างๆ มากมาย เช่น แนวคิดทางทฤษฎีเกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาคและจักรวาลวิทยา เทคโนโลยีการสร้างเครื่องมือสำหรับศึกษาปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์อนุภาค และการนำความรู้ทางฟิสิกส์อนุภาคไปประยุกต์ใช้ นอกจากนี้ ผู้เขียนยังได้แนวคิดในการจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์อีกด้วย ในรายงานฉบับนี้ ผู้เขียนได้สรุปสิ่งที่ตนเองเรียนรู้จากการเข้าร่วมโครงการฯ โดยการแบ่งเนื้อหาออกเป็น 2 บท คือ บทที่ 3 และบทที่ 4 ในบทที่ 3 ผู้เขียนเน้นเนื้อหาทางทฤษฎีต่างๆ เช่น ฟิสิกส์อนุภาค จักรวาลวิทยา เครื่องเร่งอนุภาค เครื่องตรวจวัดอนุภาค ระบบคอมพิวเตอร์สำหรับการจัดการข้อมูล และการนำความรู้ฟิสิกส์อนุภาคไปใช้ในทางการแพทย์ ในบทที่ 4 ผู้เขียนบรรยายแนวทางการนำบางส่วนของเนื้อหาในบทที่ 3 ไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์

ฟิสิกส์อนุภาค

"ฟิสิกส์อนุภาค" (Particle physics) เป็นสาขาหนึ่งของฟิสิกส์ ซึ่งศึกษาชนิดและสมบัติของอนุภาคย่อยของอะตอม (Subatomic particle) ตลอดจนอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างอนุภาคย่อยของอะตอมเหล่านั้น ภาพที่ 3 แสดงขอบเขตของสิ่งที่นักฟิสิกส์อนุภาคต้องการศึกษา



ภาพที่ 3 แสดงขอบเขตของสิ่งที่นักฟิสิกส์อนุภาคต้องการศึกษา
ที่มา: http://cph-theory.persiangig.com/13-MatterToQuarks.jpg

ตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ สสาร (Matter) ในชีวิตประจำวันทั่วไป (เช่น โลหะ ไม้ ร่างกาย น้ำ อากาศ ฯลฯ) ประกอบด้วยอะตอม (Atom) ของธาตุต่างๆ จำนวนมาก อะตอมเหล่านี้ประกอบด้วยนิวเคลียส (Nucleus) และอิเล็กตรอน (Electron) โดยนิวเคลียสอยู่ตรงกลางของอะตอม ขณะที่

อิเล็กตรอนโคจรอยู่รอบนอกของอะตอม นิวเคลียสของอะตอมของธาตุส่วนใหญ่[7]ประกอบด้วยโปรตอน (Proton) และนิวตรอน (Neutron) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน นักฟิสิกส์อนุภาคต้องการศึกษาอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบย่อยของอะตอมเหล่านี้ เพื่อตอบคำถามที่ว่า ในท้ายที่สุดแล้ว อะไรคืออนุภาคมูลฐานที่ไม่มีองค์ประกอบย่อยอื่นๆ อีก ความรู้ทางฟิสิกส์อนุภาคในปัจจุบันระบุว่า ควาร์ก (Quark) เป็นอนุภาคมูลฐานชนิดหนึ่ง[8]

การศึกษาทางฟิสิกส์อนุภาคทำได้โดยการเร่งอนุภาคขนาดใหญ่[9] (เช่น โปรตอน) ให้เคลื่อนที่ด้วยพลังงานและอัตราเร็วสูง ก่อนบังคับให้อนุภาคเหล่านั้นชนกันเพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้น การชนกันของอนุภาคพลังงานสูง จะทำให้พลังงานของอนุภาคที่ถูกเร่ง เปลี่ยนรูปไปเป็นอนุภาคต่างๆ การเปลี่ยนรูปจากพลังงานไปเป็นอนุภาค เป็นไปตามสมการคณิตศาสตร์ของอัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ (Albert Einstein) ที่ว่า

$$E = mc^2$$

เมื่อ

E คือ พลังงาน

m คือ มวล

c คือ ค่าคงตัว ซึ่งเท่ากับอัตราเร็วของแสงในสุญญากาศ

นักฟิสิกส์อนุภาคสนใจศึกษาชนิดและสมบัติ (เช่น ประจุไฟฟ้า มวล และช่วงเวลาการสลาย) ของอนุภาคที่เกิดขึ้นหลังจากการชนเหล่านี้ เนื่องจากการศึกษาปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์อนุภาคจำเป็นต้องอาศัยเครื่องเร่ง (Accelerator) เพื่อเร่งอนุภาคให้มีพลังงานสูง ฟิสิกส์อนุภาคจึงมีอีกชื่อหนึ่งว่า “ฟิสิกส์พลังงานสูง” (High energy physics)

ความเป็นมา

การศึกษาทางฟิสิกส์อนุภาคเริ่มขึ้นในช่วงปลายคริสต์ศตวรรษที่ 19 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่นักฟิสิกส์ส่วนใหญ่กำลังมั่นใจและพึงพอใจกับความรู้ฟิสิกส์ดั้งเดิม (Classical physics) ไม่ว่าจะเป็นกลศาสตร์ดั้งเดิม (Classical mechanics) อุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) และแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetisms) ที่สามารถทำนายและอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติระดับมหภาคได้อย่างแม่นยำ (Landua, 2011) ในช่วงเวลานั้น นักฟิสิกส์บางคน เช่น เจมส์ เคลิร์ก แมกซ์เวลล์ (James Clerk Maxwell) และ ลอร์ด เคลวิน (Lord Kelvin) ถึงกับกล่าวว่า

[7] มีเพียงนิวเคลียสของอะตอมของธาตุไฮโดรเจนเท่านั้นที่ประกอบด้วยโปรตอนเพียง 1 ตัว

[8] ผู้เขียนจะอภิปรายเกี่ยวกับอนุภาคมูลฐานอีกครั้งในหัวข้อ “แบบจำลองมาตรฐาน” (หน้าที่ 42)

[9] อนุภาคขนาดใหญ่ในที่นี้ คือ อนุภาคที่ประกอบด้วยอนุภาคมูลฐาน

... ภายในไม่กี่ปีนี้ ค่าคงตัวทางฟิสิกส์ทั้งหมดจะถูกกะประมาณ ... และงานหลักเพียงอย่างเดียวที่จะเหลือไว้ให้นักวิทยาศาสตร์ คือ การวัดค่าคงตัวเหล่านี้ให้แม่นยำมากขึ้น (Maxwell, ปี ค.ศ. 1871, อ้างโดย Giudice, 2010: 79, แปลโดยผู้เขียน[10])

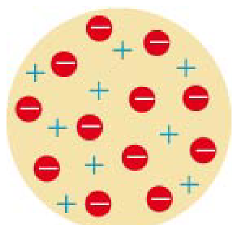
[10] ข้อความจากต้นฉบับ คือ "... in a few years, all the great physical constants will have been approximately estimated ... the only occupation which will then be left to men of science will be to carry on these measurements to another place of decimals."

... ไม่มีอะไรใหม่ให้ค้นพบอีกแล้วในทางฟิสิกส์ (งาน) ทั้งหมดที่เหลืออยู่ คือ การวัดที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น (Kelvin, ปี ค.ศ. 1990, อ้างโดย Giudice, 2010: 79, แปลโดยผู้เขียน[11])

อย่างไรก็ตาม มีเหตุการณ์และการทดลองบางอย่างในช่วงเวลานั้นที่ทำให้นักฟิสิกส์ต้องกลับมาทบทวนความรู้ทางฟิสิกส์ที่มีอยู่ เช่น การค้นพบองค์ประกอบย่อยของอะตอม การค้นพบกัมมันตภาพรังสีและรังสีคอสมิก และปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ควอนตัม (Quantum mechanics) สิ่งเหล่านี้ได้สร้างความประหลาดใจแก่นักฟิสิกส์ และนำไปสู่การศึกษาทางฟิสิกส์อนุภาคในเวลาต่อมา (Landua, 2011) เนื้อหาต่อไปนี้เป็นการสรุปการค้นพบที่สำคัญ ซึ่งนำไปสู่การศึกษาทางฟิสิกส์อนุภาค

<u>องค์ประกอบย่อยของอะตอม</u>

ในปี ค.ศ. 1897 โจเซฟ จอห์น ทอมสัน (Joseph John Thomson) ศึกษาสมบัติของรังสีแคโทด (Cathode ray) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อต่อขั้วไฟฟ้าของหลอดที่บรรจุแก๊สความดันต่ำ กับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์สูง ทอมสันให้รังสีแคโทดผ่านสนามไฟฟ้าเพื่อศึกษาสภาพทางไฟฟ้าของรังสีแคโทด เขาพบว่ารังสีแคโทดมีสภาพทางไฟฟ้าเป็นลบ นอกจากนี้ เมื่อให้รังแคโทดผ่านทั้งสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ทอมสันสามารถหาค่าอัตราส่วนระหว่างประจุไฟฟ้าและมวลของรังสีแคโทดได้ อัตราส่วนดังกล่าวมีค่าคงตัวและไม่ขึ้นกับชนิดของโลหะ ทอมสันสรุปผลการทดลองนี้ว่า รังสีแคโทดเป็นอนุภาคที่มีสภาพทางไฟฟ้าเป็นลบ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งภายในอะตอมของขั้วไฟฟ้า การค้นพบของทอมสันได้ลบล้างความเชื่อเดิมที่ว่า อะตอมเป็นองค์ประกอบมูลฐานของสสารที่ไม่มีองค์ประกอบย่อยใดๆ ทอมสันได้สร้างแบบจำลองอะตอมขึ้นใหม่ ซึ่งประกอบด้วยประจุไฟฟ้าลบ (ซึ่งต่อมาได้ชื่อว่าอิเล็กตรอน) และประจุไฟฟ้าบวก[12] กระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วอะตอม ภาพที่ 4 แสดงแบบจำลองอะตอมของทอมสัน



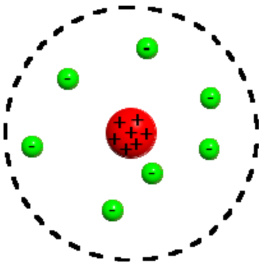
ภาพที่ 4 แสดงแบบจำลองอะตอมของทอมสัน

ที่มา: http://www.kutl.kyushu-u.ac.jp/seminar/MicroWorld1_E/Part2_E/P24_E/Thomson_model_E.jpg

[11] ข้อความจากต้นฉบับ คือ "There is nothing new to be discovered in physics. All that remains is more and more precise measurement."

[12] ทอมสันอนุมานการมีอยู่ของประจุไฟฟ้าบวกภายในอะตอมจากข้อมูลที่ว่า อะตอมในธรรมชาติมีสภาพไฟฟ้าเป็นกลาง แม้ว่าทอมสันไม่ได้ค้นพบประจุไฟฟ้าบวกภายในอะตอมก็ตาม

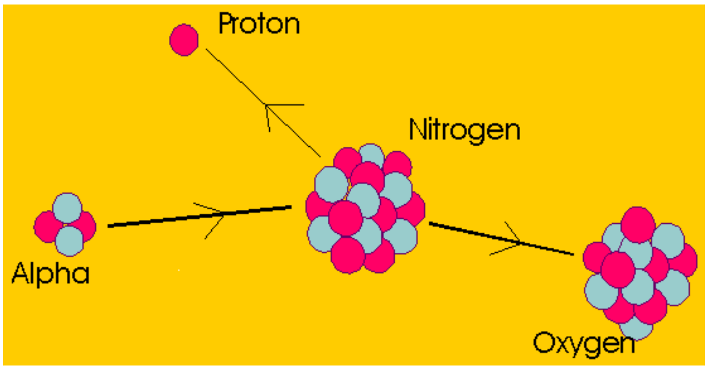
ในปี ค.ศ. 1909-1911 เออร์เนสต์ รัทเทอร์ฟอร์ด (Ernest Rutherford) ร่วมกับฮานส์ ไกเกอร์ (Hans Geiger) และเออร์เนสต์ มาร์สเดน (Ernest Marsden) ทำการทดลองโดยยิงรังสีแอลฟา (Alpha ray) ไปยังแผ่นทองคำบาง การทดลองดังกล่าวให้ข้อมูลที่เปิดเผยองค์ประกอบย่อยของอะตอมที่ละเอียดขึ้น กล่าวคือ ปรากฏการณ์ที่รังสีแอลฟาบางส่วนเกิดการเบี่ยงเบนทิศการเคลื่อนที่ไปจากแนวเดิม โดยบางครั้งมุมการเบี่ยงเบนมีค่ามากกว่า 90 องศา ทำให้รัทเทอร์ฟอร์ดคิดว่า มวลส่วนใหญ่ของอะตอมต้องอัดแน่นอยู่ตรงกลางของอะตอม มิใช่กระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอทั่วอะตอมตามที่ทอมสันได้เสนอไว้ เนื่องจากรังสีแอลฟามีสภาพทางไฟฟ้าเป็นบวก ดังนั้น สิ่งที่ทำให้รังสีแอลฟาเกิดการเบี่ยงเบนต้องมีสภาพทางไฟฟ้าเป็นบวกด้วย รัทเทอร์ฟอร์ดจึงได้เสนอแบบจำลองอะตอมใหม่ว่า อะตอมประกอบด้วยประจุไฟฟ้าบวก ซึ่งรวมกันอยู่ตรงกลางหรือนิวเคลียสของอะตอม และประจุไฟฟ้าลบ (อิเล็กตรอน) ซึ่งโคจรอยู่รอบนอกของอะตอม ภาพที่ 5 แสดงแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด



ภาพที่ 5 แสดงแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

ที่มา: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7d/Rutherfordsches_Atommodell.png

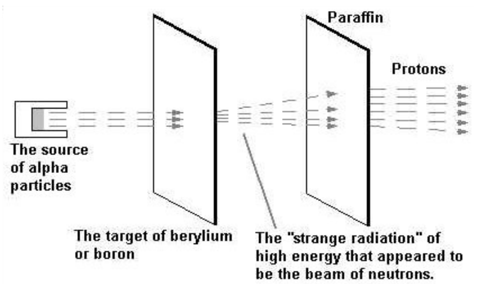
ต่อมาในปี ค.ศ. 1917 รัทเทอร์ฟอร์ดทำการทดลองยิงรังสีแอลฟาให้พุ่งชนอะตอมของธาตุไนโตรเจน และสังเกตพบว่า การชนกันดังกล่าวทำให้อะตอมของธาตุไนโตรเจนเปลี่ยนไปเป็นอะตอมของธาตุออกซิเจน และมีนิวเคลียสของธาตุไฮโดรเจนซึ่งมีสภาพทางไฟฟ้าเป็นบวกเกิดขึ้น (ดังแสดงในภาพที่ 6) รัทเทอร์ฟอร์ดสรุปผลการทดลองนี้ว่า นิวเคลียสของธาตุไฮโดรเจนนี้มาจากนิวเคลียสของธาตุไนโตรเจน กล่าวคือ นิวเคลียสของธาตุไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบของนิวเคลียสของธาตุไนโตรเจน การทดลองนี้จึงให้หลักฐานที่ยืนยันว่า นอกเหนือจากอิเล็กตรอนแล้ว อะตอมยังประกอบด้วยอนุภาคที่มีสภาพทางไฟฟ้าเป็นบวก ซึ่งอยู่ในนิวเคลียสของอะตอม รัทเทอร์ฟอร์ดเรียกอะตอมของไฮโดรเจนว่าโปรตอน



ภาพที่ 6 แสดงผลการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ด

ที่มา: http://cdn.dipity.com/uploads/events/7628044ab2375a68eb3363ef04649eb7_1M.png

ในปี ค.ศ. 1920 รัทเทอร์ฟอร์ดพิจารณามวลของอะตอมของธาตุต่างๆ และตั้งข้อสงสัยเกี่ยวกับการมีอยู่ของอนุภาคอื่นภายในอะตอมนอกเหนือไปจากอิเล็กตรอนและโปรตอน เขาเสนอความคิดเห็นว่า อะตอมอาจประกอบด้วยอนุภาคที่เป็นกลางทางไฟฟ้า ซึ่งอาจเป็นการรวมตัวกันของอิเล็กตรอนและโปรตอน รัทเทอร์ฟอร์ดเรียกอนุภาคที่เป็นกลางทางไฟฟ้านี้ว่านิวตรอน ข้อเสนอของรัทเทอร์ฟอร์ดได้รับการตอบรับจากนักฟิสิกส์ อันนำไปสู่ความพยายามตรวจหาอนุภาคที่ชื่อว่านิวตรอนนี้ จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1932 เจมส์ แชดวิก (James Chadwick) ยิงรังสีแอลฟาให้พุ่งชนอะตอมของธาตุเบริลเลียม และพบว่ามีอนุภาคที่เป็นกลางทางไฟฟ้าเกิดขึ้น แชดวิกศึกษาสมบัติของอนุภาคต้องสงสัยนี้ โดยให้มันชนพาราฟิน[13] และวัดความเร็วและพลังงานของโปรตอนที่เกิดขึ้นจากการชน จากนั้นเขาจึงอนุมานความเร็วของและพลังงานของอนุภาคต้องสงสัย โดยใช้กฎการอนุรักษ์โมเมนตัมและกฎการอนุรักษ์พลังงาน ผลการวิเคราะห์แสดงว่า มวลของอนุภาคต้องสงสัยมีค่ามากกว่ามวลของโปรตอนเล็กน้อย ซึ่งสนับสนุนข้อเสนอของรัทเทอร์ฟอร์ด ภาพที่ 7 แสดงการทดลองของแชดวิก



ภาพที่ 7 แสดงการทดลองของแชดวิก

ที่มา: http://library.thinkquest.org/19662/images/eng/pages/neutrons-1.jpg

<u>กัมมันตภาพรังสีและรังสีคอสมิก</u>

[13] พาราฟินคือสารไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ชนิดหนึ่ง

การค้นพบกัมมันตภาพรังสีเป็นอีกเหตุการณ์หนึ่งที่เคยสร้างความฉงนแก่นักฟิสิกส์ ในปี ค.ศ. 1896 ขณะที่เฮนรี แบ็กเกอเรล (Henri Becquerel) กำลังศึกษาการแผ่รังสีเอกซ์ (X ray) ของธาตุยูเรเนียมเมื่อได้รับแสง โดยนำธาตุยูเรเนียมวางบนซองสีดำซึ่งภายในบรรจุแผ่นฟิล์ม เมื่อเขานำแผ่นฟิล์มไปล้าง เขาพบรอยดำบนแผ่นฟิล์ม ซึ่งแสดงว่าธาตุยูเรเนียมแผ่รังสีออกมาเมื่อได้รับแสง ภาพที่ 8 แสดงตัวอย่างรอยดำบนแผ่นฟิล์ม แบ็กเกอเรลได้ทำการทดลองเดิมซ้ำอีกครั้ง หากแต่เขานำอุปกรณ์การทดลองไปไว้ในลิ้นชักหลายวัน เมื่อล้างแผ่นฟิล์ม เขากลับพบว่ารอยสีดำบนแผ่มฟิล์มเข้มกว่ารอยที่ได้จากการทดลองในครั้งแรก เขาจึงสรุปว่า ธาตุยูเรเนียมสามารถแผ่รังสีที่สามารถทะลุผ่านวัตถุทึบแสงได้แม้ไม่ได้รับแสง รังสีนี้แตกต่างจากรังสีเอกซ์ที่นักฟิสิกส์รู้จักในขณะนั้นคือ มันสามารถเกิดขึ้นตลอดเวลาและเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ การค้นพบของแบ็กเกอเรลทำให้เกิดการศึกษาความสามารถในการแผ่รังสีของธาตุอื่นๆ และการศึกษาสมบัติของรังสีที่แผ่ออกมาอย่างกว้างขวาง

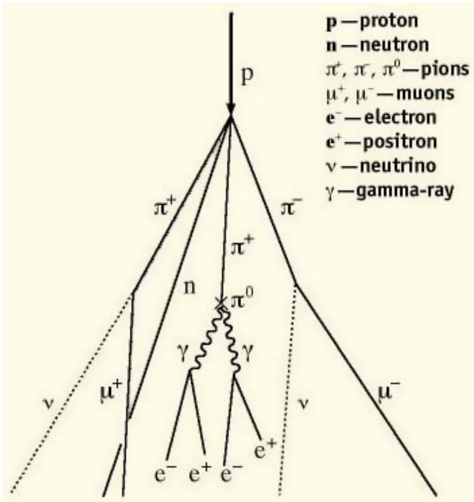
ภาพที่ 8 แสดงตัวอย่างรอยดำบนแผ่นฟิล์ม

ที่มา: http://www.practicalphysics.org/imageLibrary/jpeg200/1702.jpg

ในช่วงปี ค.ศ. 1911-1913 วิกเตอร์ ฟรานซิส เฮสส์ (Victor Francis Hess) ศึกษาปริมาณรังสีที่ระดับความสูงต่างๆ จากพื้นดิน เฮสส์มีสมมติฐานในการทดลองนี้ว่า ปริมาณรังสีจะมีค่าลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น เพราะเขาคิดว่า แหล่งกำเนิดรังสีคือธาตุต่างๆ ที่อยู่ในโลก อย่างไรก็ตาม หลังจากที่เขานั่งบอลลูนขึ้นไปวัดปริมาณรังสีที่ระดับความสูงต่างๆ ด้วยตัวเอง เขากลับได้ผลการทดลองที่ไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่เขาได้ตั้งไว้ กล่าวคือ เขาพบว่าปริมาณรังสีมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้ เฮสส์จึงสรุปว่า นอกจากรังสีที่เกิดจากธาตุต่างๆ ในโลกแล้ว ยังมีรังสีที่มาจากอวกาศพุ่งเข้าสู่โลกอีกด้วย ในปี ค.ศ. 1925 ผลการทดลองของเฮสส์ได้รับการยืนยันโดย โรเบิร์ต แอนดรูว มิลลิแกน[14] (Robert Andrew Millikan) ผู้เรียกรังสีจากอวกาศนี้ว่ารังสีคอสมิก (Cosmic ray) การค้นพบรังสีคอสมิกนำไปสู่การศึกษาสมบัติและองค์ประกอบของรังสีคอสมิก ซึ่งนำไปสู่การตรวจพบอนุภาคต่างๆ ที่นักฟิสิกส์ไม่เคยรู้จักมาก่อน[15] เช่น ไพออน (Pion: ¶) มิวออน (Muon: μ) และ เคออน (Kaon: K) และแลมดา (Lambda: Λ) อนุภาคเหล่านี้เกิดจากการชนกันระหว่างรังสีคอสมิกและโมเลกุลอากาศในชั้นบรรยากาศของโลก ดังแสดงในภาพที่ 9

[14] มิลลิแกนเป็นผู้ทดลองและสามารถหาค่าประจุไฟฟ้าและมวลของอิเล็กตรอนได้ในปี ค.ศ. 1908

[15] เครื่องมือที่นักฟิสิกส์เคยใช้ตรวจพบอนุภาค คือ คลาวด์แชมเบอร์ และ บับเบอร์แชมเบอร์ (ผู้ที่สนใจอ่านเพิ่มเติมได้ที่หน้าที่ 58)

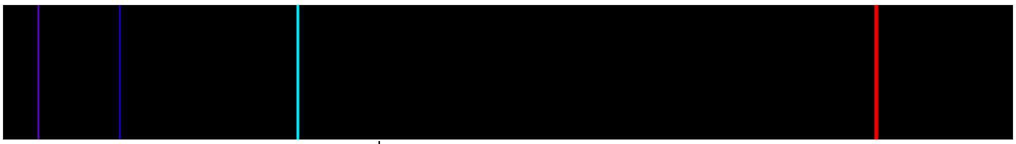


ภาพที่ 9 แสดงการเกิดอนุภาคย่อยของอะตอมจากการชนกันระหว่างรังสีคอสมิกและโมเลกุลอากาศ

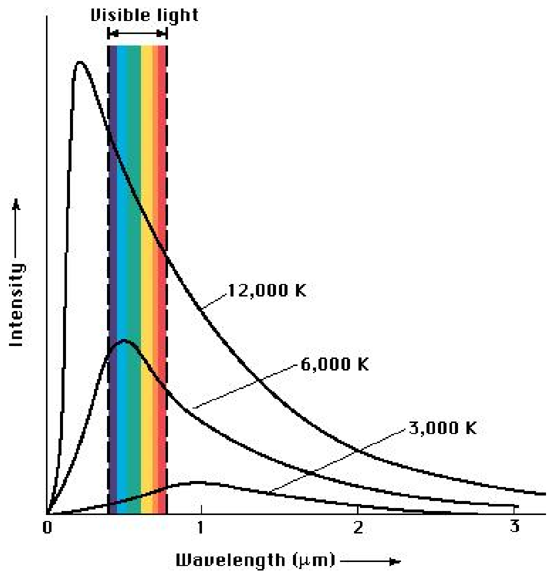
ที่มา: http://www.australianclimatemadness.com/wp-content/uploads/2011/01/cosmic_ray_shower.jpg

<u>ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับฟิสิกส์ควอนตัม</u>

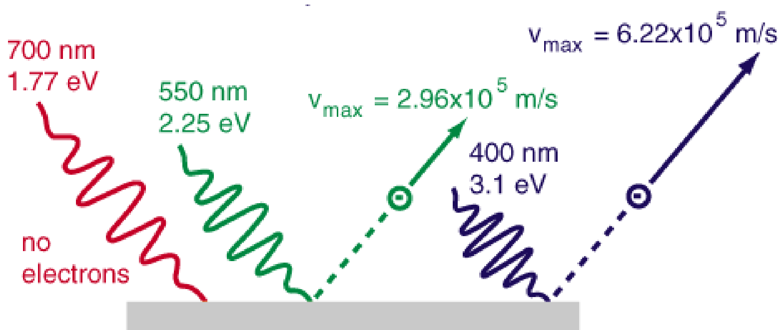
แม้ว่ามีการค้นพบองค์ประกอบต่างๆ ภายในอะตอม ไม่ว่าจะเป็นอิเล็กตรอน โปรตอน และนิวตรอน นักฟิสิกส์ในขณะนั้นยังไม่เข้าใจอย่างถ่องแท้ว่า องค์ประกอบเหล่านี้จัดเรียงตัวกันอย่างไรภายในอะตอม นอกจากนี้ ยังมีข้อสงสัยและปรากฏการณ์บางอย่าง ที่แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ดและความรู้ฟิสิกส์ดั้งเดิม ไม่สามารถตอบหรืออธิบายได้ อาทิ สาเหตุที่ทำให้อิเล็กตรอนโคจรรอบนิวเคลียสของอะตอมได้โดยไม่สูญเสียพลังงาน การเกิดเส้นสเปกตรัม (Spectrum) ของแก๊ซไฮโดรเจนร้อน (ดังแสดงในภาพที่ 10) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มและความยาวคลื่นของรังสีที่แผ่โดยวัตถุ ณ อุณหภูมิต่างๆ (ดังแสดงในภาพที่ 11) และการที่อิเล็กตรอนหลุดออกจากขั้วไฟฟ้าเมื่อมีแสงความถี่สูงมาตกกระทบ (ดังแสดงในภาพที่ 12) ความพยายามหาคำอธิบายของประเด็นเหล่านี้นำไปสู่การศึกษาฟิสิกส์สาขาใหม่ที่มีชื่อว่า ฟิสิกส์ควอนตัม (Quantum physics) ซึ่งเป็นพื้นฐานของการศึกษาทางฟิสิกส์อนุภาค


ภาพที่ 10 แสดงสเปกตรัมของแก๊ซไฮโดรเจนร้อน

ที่มา: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4c/Emission_spectrum-H.png



ภาพที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มและความยาวคลื่นของรังสีที่แผ่โดยวัตถุ ณ อุณหภูมิต่างๆ
ที่มา: http://zebu.uoregon.edu/~imamura/122/images/blackbody_curves.jpg



ภาพที่ 12 แสดงการหลุดของอิเล็กตรอนจากโลหะเมื่อมีแสงความถี่สูง (หรือความยาวคลื่นต่ำ) มาตกกระทบ
ที่มา: http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/imgmod2/pelec.gif

ในปี ค.ศ. 1885 โจฮาน จาคอป บัลเมอร์ (Johann Jacob Balmer) สามารถสร้างสมการคณิตศาสตร์ ซึ่งให้ค่าที่สอดคล้องกับความยาวคลื่นของสเปกตรัมที่เกิดจากแก๊ซไฮโดรเจนร้อนได้ สมการของบัลเมอร์ คือ

$$\lambda = B\left[\frac{n^2}{n^2 - 2^2}\right]$$

เมื่อ

λ คือ ความยาวคลื่นของสเปกตรัมทั้ง 4 เส้น ซึ่งมีค่าประมาณ 656.2 486.1 434.0 และ 410.1 นาโนเมตร[16] ตามลำดับ

B คือ ค่าคงตัว ซึ่งมีค่าประมาณ 364.56 นาโนเมตร

n คือ เลขจำนวนเต็ม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3 4 5 และ 6 ตามลำดับ

[16] 1 นาโนเมตร มีค่าเท่ากับ 1 x 10^{-9} เมตร

อย่างไรก็ตาม บัลเมอร์ไม่สามารถอธิบายได้ว่า เหตุใดความยาวคลื่นของสเปกตรัมของแก๊ซไฮโดรเจนร้อนจึงเกี่ยวข้องกับตัวเลขจำนวนเต็มบวก

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มและความยาวคลื่นของรังสีที่แผ่โดยวัตถุ ณ อุณหภูมิต่างๆ เป็นปรากฏการณ์หนึ่ง ซึ่งสร้างความลำบากแก่นักฟิสิกส์ในการหาสมการคณิตศาสตร์ที่สอดคล้องกับค่าที่ได้จากการทดลอง ตลอดจนการหาคำอธิบายที่สมเหตุสมผล แม้ว่านักฟิสิกส์บางคน เช่น วิลเฮล์ม เวน (Wilhelm Wien) ลอร์ด เรเลย์ (Lord Rayleigh) และ เจมส์ จีนส์ (James Jeans) ได้เสนอสมการที่ให้ค่าที่สอดคล้องกับผลการทดลองบางช่วงความยาวคลื่น แต่สมการเหล่านั้นไม่สามารถสร้างความพึงพอใจในกลุ่มนักฟิสิกส์ จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1900 แมกซ์ พลังค์ (Max Planck) ได้เสนอสมการ ซึ่งให้ค่าสอดคล้องกับผลการทดลองในทุกค่าความยาวคลื่น สมการดังกล่าวตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า พลังงานของรังสีที่วัตถุแผ่ออกมามีได้เฉพาะบางค่าเท่านั้น ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่ของรังสี[17] นั่นคือ

$$E = nhf$$

เมื่อ

E คือ พลังงานของรังสีที่วัตถุรับเข้าไปหรือแผ่ออกมา

n คือ เลขจำนวนเต็มบวก

h คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (ซึ่งมีค่าประมาณ 6.625×10^{-34} จูลต่อวินาที)

f คือ ความถี่ของรังสีที่วัตถุรับเข้าไปหรือแผ่ออกมา

อย่างไรก็ตาม นักฟิสิกส์ในขณะนั้นยังไม่แน่ใจในสมมติฐานของพลังค์เกี่ยวกับความไม่ต่อเนื่องของพลังงาน ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับเลขจำนวนเต็มบวก

อีกปรากฏการณ์หนึ่งที่ทำให้นักฟิสิกส์หลายคนต้อง “เกาศีรษะ” คือ ปรากฏการณ์ที่มีชื่อว่าโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric effect) ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นเมื่อแสงความถี่สูงตกกระทบขั้วโลหะภายในหลอดสุญญากาศ แล้วทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากขั้วโลหะนั้น จำนวนอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงที่ตกกระทบ ขณะที่พลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอนขึ้นอยู่กับความถี่ของแสงที่ตกกระทบ นักฟิสิกส์สงสัยว่า เหตุใดแสงที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่ค่าหนึ่งจึงไม่สามารถทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากขั้วโลหะได้ แม้ว่ามีการฉายแสงความถี่ต่ำบนขั้วโลหะเป็นเวลานาน จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1905 อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์นำสมมติฐานความไม่ต่อเนื่องของพลังงานตามที่พลังค์เคยเสนอไว้ มาใช้อธิบายข้อสงสัยดังกล่าว ไอน์สไตน์พิจารณาว่า แสงเป็นอนุภาค[18]ที่มีพลังงานค่าหนึ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่ของแสง แสงที่มีความถี่ต่ำจึงมีพลังงานต่ำ ซึ่งไม่เพียงพอที่จะทำ

[17] ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและความถี่ของรังสีใดๆ จะเป็นไปตามสมการ $c = \lambda f$ เมื่อ c คือ อัตราเร็วของรังสีในสุญญากาศ λ คือ ความยาวคลื่นของรังสี และ f คือ ความถี่ของรังสี

[18] ไอน์สไตน์เรียกอนุภาคของแสงว่าโฟตอน (Photon)

ให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากขั้วโลหะ อย่างไรก็ตาม คำอธิบายของไอน์สไตน์ไม่สอดคล้องกับความรู้ฟิสิกส์ดั้งเดิม ซึ่งระบุว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ในปี ค.ศ. 1913 นีลส์ โบร์[19] (Niels Bohr) นำสมมติฐานของพลังค์เกี่ยวกับความไม่ต่อเนื่องของพลังงาน มาใช้ตอบข้อสงสัยเกี่ยวกับแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ดที่ว่า เหตุใดอิเล็กตรอนจึงโคจรรอบนิวเคลียสของอะตอมอยู่ได้โดยไม่มีการสูญเสียพลังงาน โบร์เสนอว่า อิเล็กตรอนจะไม่มีการสูญเสียพลังงาน เมื่ออิเล็กตรอนโคจรอยู่ในวงโคจรที่ทำให้โมเมนตัมเชิงมุม (Angular momentum) ของมันมีค่าเป็นจำนวนเท่าของค่าคงตัวค่าหนึ่ง ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$L_n = mv_n r_n = \frac{nh}{2\pi}$$

เมื่อ

L_n คือ โมเมนตัมเชิงมุมของอิเล็กตรอนในวงโคจรที่ n

m คือ มวลของอิเล็กตรอน

v_n คือ อัตราเร็วของอิเล็กตรอน

r_n คือ รัศมีวงโคจรที่ n

n คือ เลขจำนวนเต็มบวก ซึ่งแสดงลำดับวงโคจรของอิเล็กตรอน

h คือ ค่าคงที่ของพลังค์

¶ คือ ค่าคงที่ (ซึ่งมีค่าประมาณ 3.14)

ในการนี้ โบร์ใช้สมการทางคณิตศาสตร์แสดงให้เห็นว่า พลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมจะมีค่าไม่ต่อเนื่อง ซึ่งขึ้นอยู่กับวงโคจรของอิเล็กตรอน กล่าวคือ พลังงานของอิเล็กตรอนจะแปรผกผันกับรัศมีของวงโคจร โบร์เสนอด้วยว่า อิเล็กตรอนจะมีการเปลี่ยนแปลงวงโคจรเมื่อได้รับหรือปลดปล่อยพลังงานในรูปของรังสีหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$\left|E_{ni} - E_{nf}\right| = hf$$

เมื่อ

E_{ni} คือ พลังงานของอิเล็กตรอนก่อนการเปลี่ยนแปลงวงโคจร

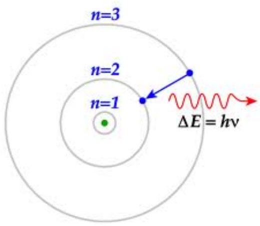
E_{nf} คือ พลังงานของอิเล็กตรอนหลังการเปลี่ยนแปลงวงโคจร

h คือ ค่าคงที่ของพลังค์

f คือ ความถี่ของรังสีที่อิเล็กตรอนรับเข้าไปหรือแผ่ออกมา

ข้อเสนอของโบร์ไม่เพียงแค่ตอบข้อสงสัยเกี่ยวกับเสถียรภาพของอะตอมเท่านั้น แต่ยังสามารถอธิบายการเกิดสเปกตรัมของไฮโดรเจนร้อนได้อีกด้วย โบร์จึงเสนอแบบจำลองอะตอมขึ้นใหม่ ซึ่งมีพื้นฐานมาจากแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด ดังแสดงในภาพที่ 13

[19] โบร์เป็นหนึ่งในผู้บุกเบิกการก่อตั้งเซิร์น (CERN, 2008b)



ภาพที่ 13 แสดงแบบจำลองอะตอมของโบร์

ที่มา: http://t2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSXXy0RLF5Spsg-gosDFrL4746lsnhbLKlwRLz2uWaPnewncFIzvkmY9AgZ

แบบจำลองอะตอมของโบร์แตกต่างจากแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ดในแง่ที่ว่า แบบจำลองอะตอมของโบร์มีวงโคจรของอิเล็กตรอนจำนวนไม่จำกัด อิเล็กตรอนอยู่ในอะตอมได้เฉพาะในวงโคจรเหล่านี้เท่านั้น และไม่สามารถอยู่ระหว่างวงโคจรได้ อิเล็กตรอนจะอยู่ในวงโคจรใดนั้นขึ้นอยู่กับพลังงานของอิเล็กตรอน ถึงกระนั้น อิเล็กตรอนสามารถเปลี่ยนวงโคจรได้เมื่อมันได้รับหรือปลดปล่อยพลังงาน

แม้ว่าสมมติฐานเกี่ยวกับความไม่ต่อเนื่องของพลังงานสามารถตอบข้อสงสัยและอธิบายปรากฏการณ์ในระดับอะตอม ซึ่งความรู้ฟิสิกส์ดั้งเดิมไม่สามารถทำได้ แต่มันก็สร้างข้อสงสัยใหม่ขึ้นในกลุ่มนักฟิสิกส์ นั่นคือ เหตุใดแสงจึงสามารถแสดงพฤติกรรมเสมือนเป็นอนุภาค จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1924 ลูอิส วิกเตอร์ เดอ บรอยล์ (Louis Victor de Broglie) ใช้สมการ $E = mc^2$ ของไอน์สไตน์ และสมการ $E = nhf$ ของพลังค์ แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและโมเมนตัมของอนุภาค สมการที่เดอ บรอยล์ได้มา คือ

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

เมื่อ

λ คือ ความยาวคลื่น

h คือ ค่าคงที่ของพลังค์

p คือ โมเมนตัมของอนุภาค

เนื่องจากความยาวคลื่นเป็นสมบัติประการหนึ่งของคลื่น ขณะที่โมเมนตัมเป็นสมบัติประการหนึ่งของอนุภาค เดอ บรอยล์จึงใช้สมการนี้ในการเสนอว่า คลื่นสามารถแสดงสมบัติของอนุภาคได้ และอนุภาคก็สามารถแสดงสมบัติของคลื่นได้ ดังนั้น เมื่อพิจารณาว่าอิเล็กตรอนแสดงสมบัติเป็นคลื่น เดอ บรอยล์อธิบายถึงสาเหตุที่อิเล็กตรอนสามารถโคจรรอบนิวเคลียสของอะตอมได้ โดยไม่มีการสูญเสียพลังงานว่า ความยาวของเส้นรอบวงโคจรตามที่โบร์เสนอนั้น สามารถทำให้อิเล็กตรอนแสดงสมบัติคลื่นนิ่ง (Standing wave) ได้พอดี นั่นคือ ความยาวของเส้นรอบวงโคจรมีค่าเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่นของอิเล็กตรอน ในปัจจุบัน ข้อเสนอของเดอ บรอยล์ ได้รับการเรียกขานว่า ทวิภาพของคลื่นและอนุภาค (Wave-particle duality)

หลังจากข้อสงสัยและปรากฏการณ์ต่างๆ ในระดับอะตอม ได้รับการตอบและอธิบายโดยใช้สมมติฐานความไม่ต่อเนื่องของพลังงาน และทวิภาพของคลื่นและอนุภาค นักฟิสิกส์จึงพยายามหาวิธีการทางคณิตศาสตร์ ที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ในระดับอะตอมได้อย่างแม่นยำมากขึ้น ในปี ค.ศ. 1926 เออร์วิน ชเรอดิงเงอร์ (Erwin Schrödinger) ใช้สมมติฐานของเดอ บรอยล์ ในการสร้างสมการคณิตศาสตร์ ที่สามารถบรรยายพฤติกรรมของ “คลื่นอิเล็กตรอน” ในอะตอม ในช่วงเวลาใกล้เคียงกันนี้ (ค.ศ. 1927) เวอร์เนอร์ คาร์ล ไฮเซนเบิร์ก (Werner Karl Heisenberg) เสนอสมการคณิตศาสตร์ ที่แสดงถึงความไม่แน่นอนในการวัดตำแหน่งและโมเมนตัมของอิเล็กตรอนในอะตอม เขาแสดงให้เห็นว่า การวัดปริมาณหนึ่งจะส่งผลต่อความไม่แน่นอนในการวัดอีกปริมาณหนึ่งอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยไม่เกี่ยวข้องกับผู้วัดและวิธีการวัด หลักความไม่แน่นอนในการวัดที่ไฮเซนเบิร์กเสนอ นำไปสู่ความเข้าใจที่ว่า ปรากฏการณ์ในระดับอะตอมเกิดขึ้นในรูปแบบทางสถิติ นั่นคือ นักฟิสิกส์สามารถบรรยายและทำนายปรากฏการณ์ในระดับอะตอมโดยอาศัยความน่าจะเป็นเท่านั้น

ความรู้ทางฟิสิกส์ควอนตัมได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ในปี ค.ศ. 1928 พอล ดิแรค (Paul Dirac) สามารถสร้างสมการคณิตศาสตร์ ที่ผนวกรวมฟิสิกส์ควอนตัมกับทฤษฎีสัมพันธภาพ[20] (Relativity) ได้สำเร็จ กล่าวคือ ดิแรคได้ขยายความสามารถของสมการของชเรอดิงเงอร์ ให้สามารถบรรยายพฤติกรรมของอนุภาค (หรือคลื่น) ที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วใกล้เคียงกับอัตราเร็วของแสงในสุญญากาศ นอกจากนี้ สมการของดิแรคยังนำไปสู่การตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับการมีอยู่ของปฏิสสาร (Antimatter) กล่าวคือ สมการของดิแรคระบุว่า อนุภาคใดๆ จะมีปฏิอนุภาค (Antiparticle) ซึ่งมีสมบัติเหมือนอนุภาคนั้นทุกประการ เว้นเสียแต่ว่าปฏิอนุภาคจะมีประจุไฟฟ้าตรงกันข้ามกับประจุไฟฟ้าของอนุภาค ตัวอย่างเช่น ปฏิอนุภาคของอิเล็กตรอนจะมีสมบัติเหมือนอิเล็กตรอนทุกประการ แต่มีประจุไฟฟ้าเป็นบวก ปฏิสสารจึงประกอบด้วยปฏิอนุภาค แม้สมมติฐานดังกล่าวได้สร้างความประหลาดใจในกลุ่มนักฟิสิกส์ในขณะนั้น ซึ่งรวมทั้งดิแรคเอง การค้นพบปฏิอนุภาคของอิเล็กตรอนโดยคาร์ล แอนเดอสัน (Carl Anderson) ในปี ค.ศ. 1932 สนับสนุนสมมติฐานของดิแรค ต่อมาปฏิอนุภาคของอิเล็กตรอนได้ชื่อว่าโพซิตรอน (Positron)

จวบจนปัจจุบัน มีแนวคิดทางทฤษฎีต่างๆ เกิดขึ้นมากมาย อาทิ ทฤษฎีสนามควอนตัม (Quantum field theory) อิเล็กโตรไดนามิกส์ควอนตัม (Quantum electrodynamics) โครโมไดนามิกส์ควอนตัม (Quantum chromodynamics) และเฟลเวอร์ไดนามิกส์ควอนตัม (Quantum flavordynamics) แนวคิดทางทฤษฎีเหล่านี้มีพื้นฐานมาจากฟิสิกส์ควอนตัม และอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์ขั้นสูง ซึ่งสามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระดับฟิสิกส์อนุภาค

[20] ทฤษฎีสัมพันธภาพเป็นทฤษฎีที่อธิบายปรากฏการณ์ที่วัตถุหรืออนุภาคใดๆ กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วใกล้เคียงกับความเร็วของแสงในสุญญากาศ

โดยเฉพาะอันตรกิริยารูปแบบต่างๆ ระหว่างอนุภาค นอกจากนี้ แนวคิดทางทฤษฎีดังกล่าวได้ถูกนำไปใช้ในการคาดการณ์อนุภาคที่เป็นไปได้ว่าจะมีอยู่หรือเกิดขึ้น ตลอดจนปรากฏการณ์ที่เป็นไปได้ว่าจะเกิดขึ้น[21] หากแต่ยังไม่ถูกค้นพบในการทดลอง นักฟิสิกส์อนุภาคใช้แนวคิดทางทฤษฎีเหล่านี้ ร่วมด้วยกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เพื่อพัฒนาเป็นความรู้ทางฟิสิกส์อนุภาคในปัจจุบัน ซึ่งมีชื่อว่า "แบบจำลองมาตรฐาน" (The standard model)

ความรู้ทางฟิสิกส์อนุภาค

ในอดีตที่ผ่านมา นักวิทยาศาสตร์พยายามจัดหมวดหมู่ธาตุต่างๆ ที่ตนเองรู้จัก โดยอาศัยสมบัติของธาตุเป็นเกณฑ์ ผลลัพธ์ที่ได้คือตารางธาตุ (Periodic table) ที่สามารถนำไปใช้ในการอธิบายการเกิดปฏิกิริยาเคมีของธาตุ และทำนายการมีอยู่ของธาตุที่ยังไม่ได้รับการค้นพบ ในทำนองเดียวกัน การตรวจพบอนุภาคต่างๆ จำนวนมาก[22]หลังจากการค้นพบรังสีคอสมิก ทำให้นักฟิสิกส์ริเริ่มการจัดหมวดหมู่ของอนุภาคที่ตนเองรู้จัก ในตอนเริ่มต้น อนุภาคถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ โดยอาศัยชนิดของแรงหรืออันตรกิริยาระหว่างอนุภาค[23]เป็นเกณฑ์ อนุภาคกลุ่มแรกมีชื่อว่า ฮาดรอน (Hadron) ซึ่งเป็นอนุภาคที่ "รู้สึกได้" ถึงแรงนิวเคลียร์อย่างเข้ม อาทิ โปรตอน และนิวตรอน อนุภาคกลุ่มที่สองมีชื่อว่า เลปตอน (Lepton) ซึ่งรู้สึกได้ถึงแรงนิวเคลียร์อย่างอ่อนและแรงแม่เหล็กไฟฟ้า แต่ไม่รู้สึกได้ถึงแรงนิวเคลียร์อย่างเข้ม เช่น อิเล็กตรอน และมิวออน เช่นเดียวกับการจัดหมวดหมู่ธาตุในอดีต การจัดหมวดหมู่อนุภาคช่วยให้นักฟิสิกส์เข้าใจสมบัติของอนุภาคมากขึ้น

ในปี ค.ศ. 1961 เมอร์เรย์ เกลมาน (Murry Gell-Mann) และ ยูเวล นีแมน (Yuval Ne'eman) เสนอวิธีการจัดหมวดหมู่อนุภาคที่เป็นฮาดรอน แม้ว่านักฟิสิกส์ทั้งคู่ไม่ได้ทำงานร่วมกัน พวกเขากลับใช้วิธีการคล้ายกัน เกลมานเรียกวิธีการของเขาว่า "วิธีการมรรคแปด" (The Eightfold Way) ซึ่งเขาได้รับแรงบันดาลใจมาจากคำสอนของพุทธศาสนา (Giudice, 2010) อนุภาคที่เป็นฮาดรอนถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ โดยใช้มวลของอนุภาคเป็นเกณฑ์ กลุ่มหนึ่งมีชื่อว่า แบริออน (Baryon) และอีกกลุ่มหนึ่งชื่อว่า เมซอน (Meson) ทั้งแบริออนและเมซอนเป็นคำในภาษากรีก ซึ่งมี

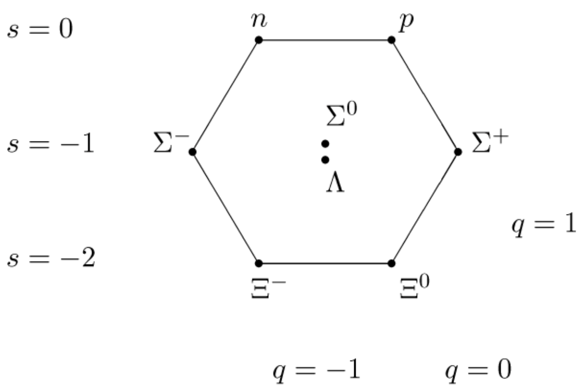
---

[21] ผู้เขียนขอย้ำอีกครั้งว่า ปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ควอนตัมเกิดขึ้นในรูปแบบทางสถิติ การเกิดปรากฏการณ์บางอย่างอาจมีความน่าจะเป็นน้อย จึงเป็นเรื่องยากแก่การค้นพบ

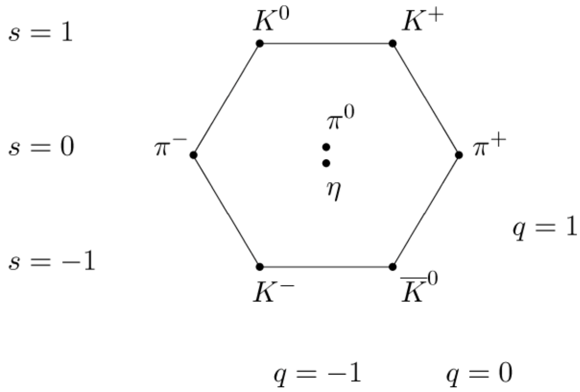
[22] จำนวนอนุภาคที่มากนี้เคยทำให้ เอนริโก เฟอร์มี (Enrico Fermi) ถึงกับกล่าวว่า "ถ้าผมจำชื่ออนุภาคพวกนี้ได้ ผมคงเป็นนักพฤกษศาสตร์ไปแล้ว" (... if I could remember the names of these particles, I would have been a botanists.) (The Particle Data Group, 2009a)

[23] ในทางฟิสิกส์ แรงหรืออันตรกิริยาระหว่างอนุภาคมีอยู่ 4 ชนิด คือ แรงโน้มถ่วง (Gravitational force) แรงแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic force) แรงนิวเคลียร์อย่างอ่อน (Weak nuclear force) และแรงนิวเคลียร์อย่างเข้ม (Strong nuclear force)

ความหมายว่า “หนัก” (Heavy) และ “ปานกลาง” (Immediate) ตามลำดับ นั่นคือ อนุภาคในกลุ่มแบริออนเป็นอนุภาคที่มีมวลมาก อาทิ โปรตอน และนิวตรอน ขณะที่อนุภาคในกลุ่มเมซอนมีมวลมากกว่ามวลของอิเล็กตรอน แต่น้อยกว่ามวลของอนุภาคในกลุ่มแบริออน เกลมานจัดหมวดหมู่อนุภาคโดยพิจารณาสมบัติของอนุภาค เช่น สเตรนง์เนส (Strangeness: s) และ ประจุไฟฟ้า (q) เป็นเกณฑ์ ภาพที่ 14 และภาพที่ 15 แสดงการจัดหมวดหมู่อนุภาคในกลุ่มแบริออนและการจัดหมวดหมู่อนุภาคในกลุ่มเมซอน ตามลำดับ



ภาพที่ 14 แสดงการจัดหมวดหมู่อนุภาคในกลุ่มแบริออน
ที่มา: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4b/Baryon_octet.png



ภาพที่ 15 แสดงการจัดหมวดหมู่อนุภาคในกลุ่มเมซอน
ที่มา: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3a/Meson_octet.png

การจัดหมวดหมู่อนุภาคด้วยวิธีการมรรคแปดทำให้นักฟิสิกส์ตั้งสมมติฐานของการมีอยู่ของอนุภาคที่ยังไม่ถูกค้นพบ

การมีอนุภาคในกลุ่มฮาดรอนจำนวนมากทำให้นักฟิสิกส์คิดว่า อนุภาคเหล่านี้อาจไม่ใช่อนุภาคมูลฐาน แต่เป็นอนุภาคที่ประกอบขึ้นด้วยอนุภาคย่อยอื่น ในปี ค.ศ. 1964 เมอร์เรย์ เกลมาน

และ จอร์จ ซไวก์ (George Zweig) เสนอแนวคิดที่เหมือนกันว่า อนุภาคในกลุ่มแบริออนและอนุภาคในกลุ่มเมซอนประกอบขึ้นด้วยอนุภาคมูลฐาน ซึ่งเกลมานให้ชื่อว่า ควาร์ก (Quark) ขณะที่ซไวก์ให้ชื่อว่า แอกซ์ (Aces) โดยอนุภาคมูลฐานที่ว่านี้มีปฏิอนุภาคในจำนวนที่เท่ากัน (Giudice, 2010) ต่อมาควาร์กเป็นชื่อที่ได้รับการยอมรับมากกว่า ในตอนเริ่มต้น มีการตั้งสมมติฐานว่า ควาร์กมี 3 ชนิด คือ อัปควาร์ก (Up) ดาวน์ควาร์ก (Down) และ สเตรนจ์ควาร์ก (Strange) และปฏิอนุภาคของควาร์กเหล่านี้ (Riordan, 1992) การรวมตัวกันของควาร์ก 3 ตัว เกิดเป็นอนุภาคในกลุ่มแบริออน ขณะที่การรวมตัวกันของควาร์ก 1 ตัวและปฏิควาร์ก 1 ตัว เกิดเป็นอนุภาคในกลุ่มเมซอน ตัวอย่างเช่น โปรตอนซึ่งเป็นอนุภาคในกลุ่มแบริออน ประกอบด้วยควาร์ก 3 ตัว คือ อัปควาร์ก 2 ตัว และ ดาวน์ควาร์ก 1 ตัว ขณะที่ไพออนบวก (Positive pion) ประกอบด้วยควาร์ก 1 ตัวและปฏิควาร์ก 1 ตัว นั่นคือ อัปควาร์ก และปฏิดาวน์ควาร์ก อย่างละ 1 ตัว แนวคิดนี้สามารถบรรยายและจัดหมวดหมู่อนุภาคที่เป็นฮาดรอนได้อย่างดี เว้นเพียงแต่ว่า ในขณะนั้นยังไม่มีการค้นพบควาร์กใดๆ ในการทดลอง

ในช่วงเวลานั้น นักฟิสิกส์คิดว่า ควาร์กอาจเป็นเพียงอนุภาคเสมือน (Virtual particle) ที่ช่วยในการบรรยายสมบัติและการจัดหมวดหมู่ของอนุภาคที่เป็นฮาดรอนเท่านั้น ถึงกระนั้น การทดลองเพื่อค้นหาการมีอยู่ของควาร์กก็ยังดำเนินไป จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1968 กลุ่มนักฟิสิกส์จากศูนย์เครื่องเร่งแนวตรงแห่งแสตนฟอร์ด หรือสแลค (Stanford Linear Accelerator Center: SLAC) นำโดย เจเรอมี ฟรายด์แมน (Jerome Friedman) เฮนรี เคนเดล (Henry Kendall) ริชาร์ด เทเลอร์ (Richard Taylor) ทดลองยิงลำอิเล็กตรอนไปยังโปรตอน เพื่อศึกษาองค์ประกอบภายในโปรตอนจากการเบี่ยงเบนของลำอิเล็กตรอนเมื่อผ่านหรือชนโปรตอน พวกเขาพบหลักฐานที่แสดงว่า ประจุไฟฟ้าในโปรตอนมีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ กล่าวคือ ประจุไฟฟ้าในโปรตอนมีการกระจุกตัวอยู่บางบริเวณภายในโปรตอน หลักฐานดังกล่าวได้รับการวิเคราะห์ และตีความโดยนักฟิสิกส์ทฤษฎี 2 คน คือ เจมส์ บจอร์กเคน (James Bjorken) และ ริชาร์ด เฟย์แมน (Richard Feynman) ในแง่ที่ว่าโปรตอนประกอบขึ้นด้วยองค์ประกอบย่อย ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า ผลการทดลองดังกล่าวสนับสนุนการมีอยู่ของควาร์ก

การจัดหมวดหมู่อนุภาคที่เป็นฮาดรอนไม่เกี่ยวข้องกับอิเล็กตรอน ทั้งนี้เพราะอิเล็กตรอนไม่เกิดแรงนิวเคลียร์อย่างเข้มกับอนุภาคอื่น หากไม่พิจารณาแรงโน้มถ่วงแล้ว อิเล็กตรอนเกิดแรงนิวเคลียร์แบบอ่อนและแรงแม่เหล็กไฟฟ้ากับอนุภาคอื่นเท่านั้น หลังจากการค้นพบอิเล็กตรอนในปี ค.ศ. 1897 อิเล็กตรอนยังคงเป็นอนุภาคเดียวที่มีสมบัติดังกล่าวที่นักฟิสิกส์ในขณะนั้นรู้จัก จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1936 คาร์ล แอนเดอสัน[24] และเซท เนดเดอร์เมเยอร์ (Seth Neddermeyer) ค้นพบอนุภาคแปลกปลอมจากการศึกษารังสีคอสมิก อนุภาคนี้มีสภาพไฟฟ้าเป็นลบ และมีมวลมากกว่ามวล

[24] คาร์ล แอนเดอสัน เป็นคนเดียวกันกับผู้ที่ค้นพบโพซิตรอน

ของอิเล็กตรอน แต่น้อยกว่ามวลของโปรตอน แอนเดอสันจึงเรียกมันว่า เมโซตรอน (Mesotron) ด้วยขนาดของมวลที่ใกล้เคียงกับอนุภาคในกลุ่มเมซอน นักฟิสิกส์จึงคิดว่า เมโซตรอนเป็นอนุภาคหนึ่งในกลุ่มเมซอน ทำให้มันได้ชื่อใหม่ว่า มิว เมซอน (Mu meson) อย่างไรก็ตาม มิว เมซอน มีสมบัติที่แตกต่างไปจากอนุภาคในกลุ่มเมซอน กล่าวคือ มันไม่เกิดแรงนิวเคลียร์อย่างเข้มกับอนุภาคอื่นๆ สมบัติดังกล่าวทำให้นักฟิสิกส์ไม่สามารถจัด มิว เมซอน ให้อยู่ในกลุ่มอนุภาคเมซอนได้ การค้นพบ มิว เมซอน ได้สร้างความยากลำบากในการจัดหมวดหมู่อนุภาคแก่นักฟิสิกส์ อิซาดอร์ ไอแซก แร็บบาย (Isidor Isaac Rabi) ถึงกับกล่าวว่า "ใครสั่งมันมา[25]" การศึกษาสมบัติของ มิว เมซอน ในเวลาต่อมาทำให้นักฟิสิกส์ทราบว่า อนุภาคนี้มีสมบัติคล้ายกับสมบัติของอิเล็กตรอน กล่าวคือ มันสามารถเกิดแรงนิวเคลียร์แบบอ่อนและแรงแม่เหล็กไฟฟ้ากับอนุภาคอื่น ด้วยเหตุนี้ มิว เมซอน จึงได้ชื่อใหม่ (อีกครั้ง) ว่า มิวออน (Muon)

ในช่วงเวลาก่อนการค้นพบมิวออน (ปี ค.ศ. 1930) นักฟิสิกส์พบว่า พลังงานก่อนและหลังการเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่ปลดปล่อยรังสีบีตา (Beta ray) มีค่าไม่เท่ากัน ปรากฏการณ์นี้ได้สร้างความฉงนแก่นักฟิสิกส์ และทำให้นักฟิสิกส์มีมุมมองที่แตกต่างกันไป ในช่วงเวลาที่ความรู้ฟิสิกส์ดั้งเดิมเริ่มสูญเสียความน่าเชื่อถือ นีลส์ โบร์ สงสัยในความถูกต้องของกฎการอนุรักษ์พลังงานและกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม อย่างไรก็ตาม วูล์ฟกัง เพาลี (Wolfgang Pauli) กลับไม่เห็นด้วยกับข้อสงสัยของโบร์ ในการนี้ เขาตั้งสมมติฐานบนความเชื่อในความถูกต้องของกฎการอนุรักษ์พลังงานและกฎการอนุรักษ์โมเมนตัมว่า พลังงานที่หายไปอาจมีสาเหตุมาจากอนุภาคอื่นที่ยังไม่ได้รับการค้นพบ ซึ่งมีมวลน้อยมากและเป็นกลางทางไฟฟ้า กล่าวคือ พลังงานที่หายไปเป็นพลังงานของอนุภาคที่ยังไม่ได้รับการค้นพบนั่นเอง มุมมองที่แตกต่างกันนี้มีอยู่และก่อให้เกิดการโต้เถียงกันในกลุ่มนักฟิสิกส์ จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1956 ไคลด์ โคแวน (Clyde Cowan) และเฟรเดอริก ไรนส์ (Frederick Reines) ค้นพบอนุภาคที่มีมวลน้อยและเป็นกลางทางไฟฟ้าตามที่เพาลีได้เสนอไว้ ซึ่งในเวลาต่อมาได้ชื่อว่า นิวตริโน (Neutrino) การค้นพบนิวตริโนได้ "ต่อชีวิต" ของกฎการอนุรักษ์พลังงานและกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม

ในปี ค.ศ. 1962 ลีออน แลดเดอร์แมน (Leon Lederman) เมลวิน ชวาร์ซ (Melvin Schwartz) และแจ็ค สไตน์เบอร์เกอร์ (Jack Steinberger) แสดงให้เห็นว่า นิวตริโนมีมากกว่า 1 ชนิด กล่าวคือ พวกเขาค้นพบนิวตริโนชนิดใหม่ ซึ่งมีมวลมากกว่ามวลของนิวตริโนที่ โคแวน และ ไรนส์ ได้ค้นพบมาก่อนหน้านี้ ดังนั้น เพื่อหลีกเลี่ยงความสับสนระหว่างนิวตริโนทั้งสองชนิด จึงมีการกำหนดชื่อนิวตริโนที่ โคแวน และไรนส์ ค้นพบว่า อิเล็กตรอนนิวตริโน (Electron-neutrino) และนิวตริโนที่ แลดเดอร์แมน ชวาร์ซ และสไตน์เบอร์เกอร์ ค้นพบว่า มิวออนนิวตริโน (Muon-neutrino) นอกจากนี้ ในช่วงปี ค.ศ. 1974-1977 ผลการทดลองโดย มาร์ติน ลูวิส เพิร์ล (Martin Lewis Perl)

[25] คำพูดในภาษาอังกฤษของ อิซาดอร์ ไอแซก แร็บบาย คือ "Who ordered that?" (Giudice, 2010: 48)

และเพื่อนร่วมงานของเขา ณ ศูนย์เครื่องเร่งแนวตรงแห่งแสตนฟอร์ด (สแลค) ระบุถึงการมีอยู่ของอนุภาคอื่น ที่สามารถเกิดแรงนิวเคลียร์แบบอ่อนและแรงแม่เหล็กไฟฟ้ากับอนุภาคอื่นได้ อนุภาคที่ว่านี้แตกต่างไปจากอิเล็กตรอน มิวออน และนิวตริโนทั้งสองชนิด ในแง่ที่ว่า มันมีมวลที่มากกว่าอนุภาคเหล่านั้นหลายเท่า ในเวลาต่อมา อนุภาคที่ว่านี้ได้ชื่อว่า ทาว (Tau) การค้นพบทาวทำให้นักฟิสิกส์ตั้งสมมติฐานถึงการมีอยู่ของนิวตริโนชนิดที่สาม ซึ่งได้รับการค้นพบในปี ค.ศ. 2000 นิวตริโนชนิดที่สามนี้มีชื่อว่า ทาวนิวตริโน (Tau-neutrino)

นอกเหนือไปจากควาร์ก 3 ชนิด นั่นคือ อัปควาร์ก ดาวน์ควาร์ก และ สเตรนจ์ควาร์ก ตามที่นักฟิสิกส์ได้เสนอและค้นพบไปแล้วนั้น ทฤษฎีและการทดลองทางฟิสิกส์อนุภาคในเวลาต่อมาให้ข้อมูลเพิ่มเติมว่า ยังมีควาร์กอีก 3 ชนิด ในปี ค.ศ. 1970 เชลดอน กลาสโชว์ (Sheldon Glashow) จอห์น อิลลิพูลอส (John Iliopoulos) และลูเซียโน มายแอนนิ (Luciano Maiani) เสนอการมีอยู่ของควาร์กชนิดที่สี่ ซึ่งต่อมาได้ชื่อว่า ชาร์มควาร์ก (Charm) ข้อเสนอดังกล่าวได้รับการสนับสนุนใน เดือนพฤศจิกายน ของปี ค.ศ. 1974 เมื่อนักฟิสิกส์ทั้งจากศูนย์เครื่องเร่งแนวตรงแห่งแสตนฟอร์ด (สแลค) และจากห้องปฏิบัติการแห่งชาติบรูคฮาเวน (Brookhaven National Laboratory) ออกมาประกาศการค้นพบอนุภาคหนึ่งในกลุ่มเมซอนในเวลาไล่เลี่ยกัน การค้นพบอนุภาคดังกล่าวในเวลาใกล้เคียงกันทำให้อนุภาคนี้มีสองชื่อ คือ เจ เมซอน และไซ เมซอน (J meson และ ψ meson ตามลำดับ) เพื่อให้เกียรตินักฟิสิกส์ทั้งสองกลุ่ม อนุภาคนี้ประกอบขึ้นด้วยชาร์มควาร์กและปฏิชาร์มควาร์กอย่างละ 1 ตัว การค้นพบนี้ไม่เพียงยืนยันการมีอยู่ของชาร์มควาร์กเท่านั้น หากยังยืนยันทฤษฎีโครโมไดนามิกส์ควอนตัมอีกด้วย เหตุการณ์นี้ได้รับการกล่าวขานในกลุ่มนักฟิสิกส์ว่าเป็น “การปฏิวัติเดือนพฤศจิกายน” (November Revolution)

การมีอยู่ของควาร์กตัวที่ห้าได้รับการทำนายในปี ค.ศ. 1973 โดย มาโกโตะ โคบายาชิ (Makoto Kobayashi) และโทชิฮิดะ มาสคาวา (Toshihide Maskawa) ก่อนที่ฮาอิม ฮารารี (Haim Harari) จะให้ชื่อควาร์กตัวที่ห้านี้ว่า บอททอมควาร์ก[26] (Bottom) ในปี ค.ศ. 1975 การค้นพบควาร์กตัวที่ห้านี้เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1977 โดย ลีออน แลดเดอร์แมน[27] และเพื่อนร่วมงานของเขาที่ห้องปฏิบัติการเครื่องเร่งแห่งชาติเฟอร์มี (Fermi National Accelerator Laboratory) การค้นพบบอททอมควาร์กนำไปสู่การทำนายการมีอยู่ของควาร์กตัวที่หก ซึ่งได้ชื่อว่า ทอปควาร์ก (Top) ความสำเร็จเกิดขึ้นอีกครั้งในปี ค.ศ. 1995 เมื่อนักฟิสิกส์จากห้องปฏิบัติการเครื่องเร่งแห่งชาติเฟอร์มี

[26] ในภายหลัง นักฟิสิกส์อาจเรียกบอททอมควาร์กว่า บิวตี้ควาร์ก (Beauty)

[27] ลีออน แลดเดอร์แมน เป็นคนเดียวกันกับ ผู้ที่ค้นพบมิวออนนิวตริโน

ประกาศการค้นพบทอปควาร์ก ภาพที่ 16 แสดงสมบัติต่างๆ ของอนุภาคมูลฐานที่เป็นควาร์กและอนุภาคมูลฐานที่เป็นเลปตอน[28]

Leptons spin =1/2

Flavor		Mass GeV/c^2	Electric charge
ν_L	lightest neutrino*	$(0-0.13)\times10^{-9}$	0
e	electron	0.000511	–1
ν_M	middle neutrino*	$(0.009-0.13)\times10^{-9}$	0
μ	muon	0.106	–1
ν_H	heaviest neutrino*	$(0.04-0.14)\times10^{-9}$	0
τ	tau	1.777	–1

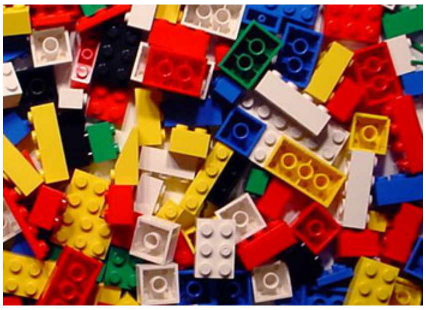
Quarks spin =1/2

Flavor		Approx. Mass GeV/c^2	Electric charge
u	up	0.002	2/3
d	down	0.005	–1/3
c	charm	1.3	2/3
s	strange	0.1	–1/3
t	top	173	2/3
b	bottom	4.2	–1/3

ภาพที่ 16 แสดงสมบัติของอนุภาคมูลฐานที่เป็นควาร์กและเลปตอน
ที่มา: http://www.cpepweb.org/images/chart_details/Fermions.jpg

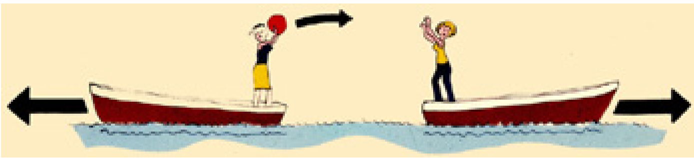
อนุภาคมูลฐานเหล่านี้สามารถถูกแบ่งออกเป็น 3 รุ่น (Generation) คือ รุ่นที่ 1 (First generation) รุ่นที่ 2 (Second generation) และรุ่นที่ 3 (Third generation) โดยแต่ละรุ่นประกอบด้วยอนุภาค 4 ชนิด (ควาร์ก 2 ชนิด และ เลปตอน 2 ชนิด) กล่าวคือ อนุภาคในรุ่นที่ 1 ประกอบด้วย อัปควาร์ก ดาวน์ควาร์ก อิเล็กตรอน และอิเล็กตรอนนิวตริโน อนุภาคในรุ่นที่ 2 ประกอบด้วย ชาร์มควาร์ก สเตรนง์ควาร์ก มิวออน และมิวออนนิวตริโน อนุภาคในรุ่นที่ 3 ประกอบด้วย ทอปควาร์ก บอททอมควาร์ก ทาว และทาวนิวตริโน เฉพาะอนุภาคในรุ่นที่ 1 เท่านั้นที่เสถียรและเป็นส่วนประกอบพื้นฐานของสสารต่างๆ ในปัจจุบัน อนุภาคในรุ่นที่ 2 และอนุภาคในรุ่นที่ 3 ไม่เสถียร และในที่สุดจะสลายตัวไปเป็นอนุภาคในรุ่นที่ 1 อนุภาคมูลฐานเหล่านี้เปรียบเสมือนตัวต่อเลโก้ (LEGO) ซึ่งประกอบขึ้นเป็นโปรตอน นิวตรอน นิวเคลียสของอะตอม อะตอม ธาตุ สารประกอบ และสสารต่างๆ (Mangano, 2011#13)

[28] ผู้อ่านต้องไม่ลืมว่า อนุภาคมูลฐานแต่ละตัว (ทั้งที่เป็นควาร์กและที่เป็นเลปตอน) มีปฏิอนุภาคของมันด้วย อย่างไรก็ตาม ภาพที่ 16 ไม่ได้แสดงปฏิอนุภาคเหล่านั้นไว้

ภาพที่ 17 แสดงการอุปมาระหว่างอนุภาคมูลฐานและตัวต่อเลโก้
ที่มา (ภาพซ้าย): http://www.mentalfloss.com/wp-content/uploads/2008/08/legos.jpg
ที่มา (ภาพขวา): http://creativefan.com/files/2010/10/lego-87.jpg

อนุภาคต่างๆ ทั้งที่เป็นอนุภาคมูลฐานและที่ไม่เป็นอนุภาคมูลฐาน มีอันตรกิริยาหรือแรงระหว่างกันอย่างไร เป็นอีกคำถามหนึ่งที่ท้าทายนักฟิสิกส์ให้พยายามหาคำตอบ ความรู้ฟิสิกส์อนุภาคในปัจจุบันระบุว่า อันตรกิริยาหรือแรงระหว่างอนุภาคมีอยู่ด้วยกัน 4 ชนิด คือ แรงโน้มถ่วง แรงแม่เหล็กไฟฟ้า แรงนิวเคลียร์อย่างอ่อน และแรงนิวเคลียร์อย่างเข้ม แรงทั้ง 4 ชนิดเหล่านี้เกิดขึ้นโดยการแลกเปลี่ยนอนุภาคนำแรง (Force carrier particle) ซึ่งมีชื่อเรียกรวมกันว่า เกจ โบซอน (Gauge boson) ภาพที่ 18 แสดงการอุปมาการแลกเปลี่ยนอนุภาคนำแรง



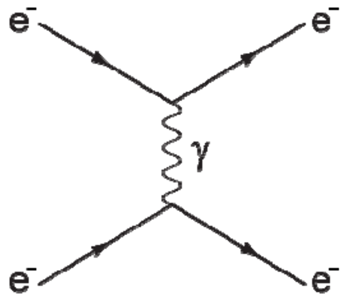
ภาพที่ 18 แสดงการอุปมาระหว่างการโยนลูกบอลไปมาและการแลกเปลี่ยนอนุภาคนำแรง
ที่มา: http://www.physicsmasterclasses.org/exercises/hands-on-cern/pictures/sm_krfo2.jpg

ภาพที่ 18 แสดงคน 2 คน ซึ่งอยู่บนเรือคนละลำ คน 2 คนนี้กำลังโยนลูกบอลไปมาระหว่างกัน ทำให้ทั้งคู่เคลื่อนที่ออกห่างจากกัน นั่นคือ มีแรงผลักที่คน 2 คนนี้กระทำซึ่งกันและกัน แรงผลักนี้เกิดจากการแลกเปลี่ยนลูกบอลระหว่างกัน คน(และเรือ) 2 คนจึงเปรียบได้กับอนุภาค 2 อนุภาค ซึ่งมีแรงผลักระหว่างโดยการแลกเปลี่ยนลูกบอล ลูกบอลในสถานการณ์นี้จึงเปรียบได้กับอนุภาคนำแรงหรือโบซอนนั่นเอง ภาพที่ 18 แสดงการอุปมาแรงผลักระหว่างอนุภาค 2 อนุภาค ซึ่งมีการแลกเปลี่ยนอนุภาคนำแรงระหว่างกัน

ภาพที่ 19 แสดงการอุปมาระหว่างการแย่งกระดูกและการแลกเปลี่ยนอนุภาคนำแรง
ที่มา: Rolf (2011, 6 July, #6)

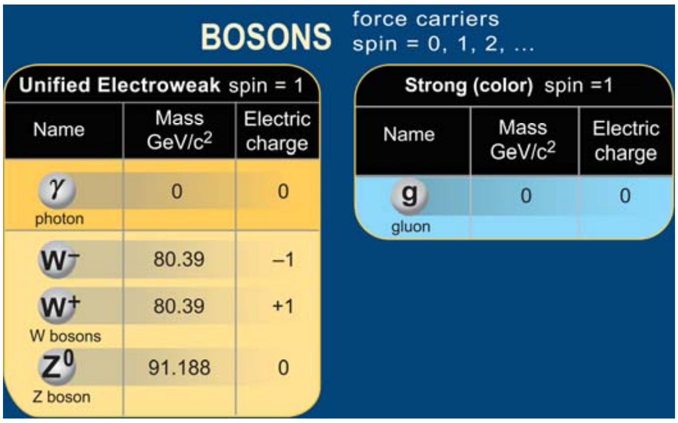
ภาพที่ 19 แสดงสุนัข 2 ตัว ซึ่งกำลังแย่งกระดูกแท่งหนึ่ง การแย่ง (หรือแลกเปลี่ยน) กระดูกกันไปมาระหว่างสุนัข 2 ตัวนี้ ทำให้สุนัขทั้งคู่อยู่ใกล้กันได้ นั่นคือ มีแรงดึงดูดระหว่างสุนัข 2 ตัวนี้ ดังนั้น สุนัข 2 ตัวนี้จึงเปรียบได้กับอนุภาค 2 อนุภาค และแท่งกระดูกเปรียบได้กับอนุภาคนำแรง ในสถานการณ์นี้ การแลกเปลี่ยนอนุภาคนำแรงทำให้เกิดแรงดูดระหว่างอนุภาค 2 อนุภาค

อนุภาคนำแรงที่นักฟิสิกส์ค้นพบและรู้จักมาตั้งแต่ช่วงเวลาของการพัฒนาความรู้ทางฟิสิกส์ควอนตัม คือ โฟตอน (Photon) ซึ่งเป็นอนุภาคนำแรงแม่เหล็กไฟฟ้า กล่าวคือ การแลกเปลี่ยนโฟตอนกันระหว่างอิเล็กตรอน 2 ตัว ทำให้เกิดแรงแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นระหว่างอิเล็กตรอน 2 ตัวนั้น (ดังแสดงในภาพที่ 20) ในตัวอย่างสถานการณ์นี้ แรงดังกล่าวเป็นแรงผลัก



ภาพที่ 20 แสดงแผนภาพการแลกเปลี่ยนโฟตอนระหว่างอิเล็กตรอน 2 ตัว ทำให้เกิดแรงแม่เหล็กไฟฟ้า
ที่มา: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e8/Electron-scattering.png

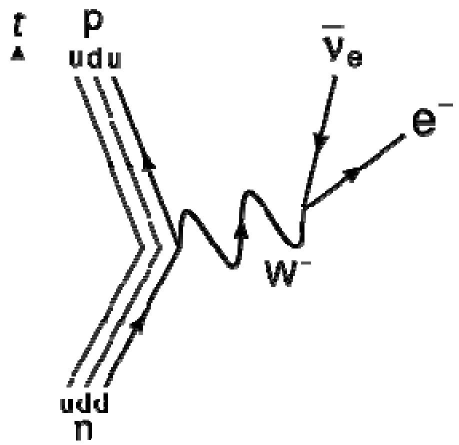
ในปี ค.ศ. 1979 การค้นพบอนุภาคนำแรงนิวเคลียร์อย่างเข้มเกิดขึ้นโดยความร่วมมือของกลุ่มนักฟิสิกส์ที่มีชื่อว่า ทัสโซ (TASSO) อนุภาคนำแรงนิวเคลียร์อย่างเข้มนี้มีชื่อว่า กลูออน (Gluon) ซึ่งเป็นอนุภาคที่ไม่มีมวลและเป็นกลางทางไฟฟ้าเช่นเดียวกับโฟตอน จากนั้นอีก 4 ปี (ค.ศ. 1983) การค้นพบอนุภาคนำแรงนิวเคลียร์อย่างอ่อนก็เกิดขึ้นที่เซิร์น โดยการทดลองของ คาร์โล รูเบีย (Carlo Rubbia) และไซมอน แวน เดอร์ เมีย (Simon van der Meer) อนุภาคนำแรงนิวเคลียร์อย่างอ่อนมี 3 ชนิด คือ โพซิทีฟ ดับบริว โบซอน (W^+ boson) เนกกะทีฟ ดับบริว โบซอน (W^- boson) และ ซี โบซอน (Z boson) ซึ่งมีสภาพทางไฟฟ้าเป็นบวก เป็นลบ และเป็นกลาง ตามลำดับ สิ่งหนึ่งที่สร้างความประหลาดใจแก่นักฟิสิกส์คือว่า อนุภาคนำแรงนิวเคลียร์อย่างอ่อนเหล่านี้มีมวล ซึ่งแตกต่างไปจากโฟตอนและกลูออน การค้นพบอนุภาคนำแรงต่างๆ ทั้งแรงแม่เหล็กไฟฟ้า แรงนิวเคลียร์อย่างเข้ม และแรงนิวเคลียร์อย่างอ่อน ทำให้นักฟิสิกส์เชื่อในการมีอยู่ของอนุภาคนำแรงโน้มถ่วง แม้ว่าอนุภาคดังกล่าวยังไม่ได้รับการค้นพบ นักฟิสิกส์เรียกอนุภาคนำแรงโน้มถ่วงว่า แกรวิตอน (Graviton) ภาพที่ 21 แสดงสมบัติของอนุภาคนำแรงต่างๆ



ภาพที่ 21 แสดงสมบัติของอนุภาคนำแรงต่างๆ
ที่มา: http://www.cpepweb.org/images/chart_details/Bosons.jpg

อย่างไรก็ตาม มีการตั้งข้อสังเกตจากผลการทดลองว่า การเกิดอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคในช่วงเวลาสั้นๆ บางครั้งไม่เป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน ตัวอย่างหนึ่งของอันตรกิริยาที่ว่านี้ คือ การสลายตัวของนิวตรอนไปเป็นโปรตอน (ดังแสดงในภาพที่ 22) ความรู้ทางฟิสิกส์อนุภาคระบุว่า นิวตรอนประกอบขึ้นด้วยอัปควาร์ก 1 ตัว และดาวน์ควาร์ก 2 ตัว ขณะที่โปรตอนประกอบขึ้นด้วยอัปควาร์ก 2 ตัว และดาวน์ควาร์ก 1 ตัว ดังนั้น อันตรกิริยาดังกล่าวแท้จริงแล้วเป็นการสลายตัวของดาวน์ควาร์ก 1 ตัวในนิวตรอนไปเป็นอัปควาร์ก ซึ่งมีการปลดปล่อยเนกกะทีฟ ดับบริว โบซอนออกมา จากนั้นเนกกะทีฟ ดับบริว โบซอนสลายตัวไปเป็นอิเล็กตรอนและปฏิอิเล็กตรอนนิวตริโน เมื่อพิจารณาพลังงาน (หรือมวล) รวมของระบบในขณะที่ดาวน์ควาร์กสลายตัวไปเป็นอับควาร์ก และมีการปลดปล่อยเนกกะทีฟ ดับบริว โบซอนนั้น พลังงานก่อนและหลังการเกิดอันตรกิริยามีค่าแตกต่าง

กัน กล่าวคือ พลังงานก่อนการเกิดอันตรกิริยาคือมวลของดาวน์ควาร์ก ซึ่งมีค่าประมาณ 0.005 GeV/c^2 ขณะที่พลังงานหลังการเกิดอันตรกิริยาคือมวลของอัปควาร์กรวมด้วยมวลของเนกกะทีฟ ดับบริว โบซอน ซึ่งมีค่าประมาณ 0.002 + 80.39 = 80.392 GeV/c^2 ข้อสงสัยคือพลังงานหลังการเกิดอันตรกิริยาจำนวนมากนี้มาจากไหน



ภาพที่ 22 แสดงสลายตัวของนิวตรอนไปเป็นโปรตอน

ที่มา: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/89/Beta_Negative_Decay.svg

คำอธิบายที่เป็นไปได้ของข้อสงสัยข้างต้นอาศัยหลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก ซึ่งระบุว่า ความคลาดเคลื่อนของค่าพลังงานที่วัดได้ (ΔE) จะแปรผกผันกับเวลาที่ใช้ในการวัด (Measurement time) (Jones, 2002) ดังแสดงในสมการข้างล่าง (เมื่อ h คือ ค่าคงที่ของพลังค์ และ r คือ 1/4¶)

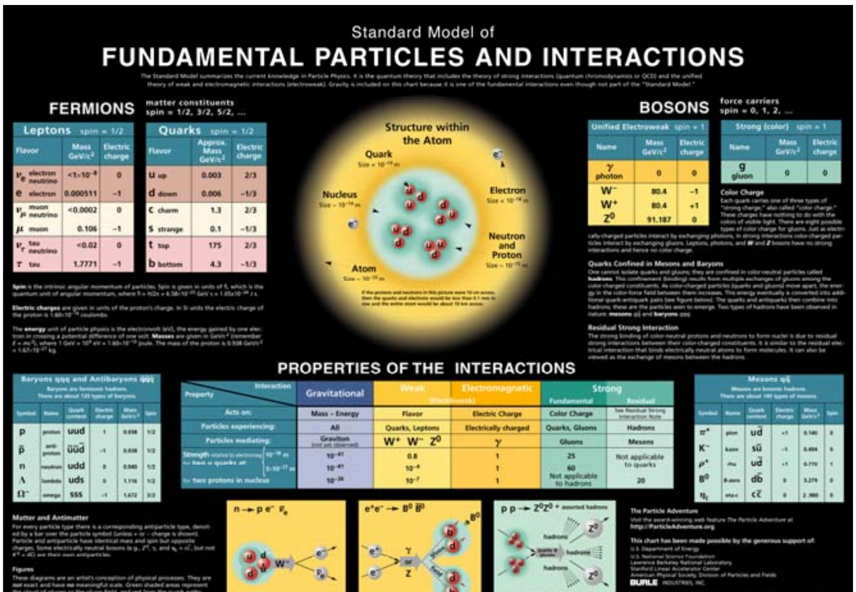
$$\text{Measurement time} \geq \frac{rh}{\Delta E}$$

นั่นคือ การวัดพลังงานที่มีค่าแน่นอนภายในช่วงเวลาสั้นๆ (ช่วงเวลาที่มีค่าน้อยกว่า h/4¶) ไม่สามารถทำได้ ด้วยเหตุนี้ จึงมีความเป็นไปได้ว่า ในช่วงเวลาสั้นๆ ของการเกิดอันตรกิริยานี้ อนุภาคอาจมีการ “ยืม” พลังงานจากแหล่งอื่นที่นักฟิสิกส์ยังไม่รู้จัก นักฟิสิกส์สันนิษฐานว่าแหล่งพลังงานดังกล่าว คือ พลังงานสุญญากาศ (Vacuum energy) นักฟิสิกส์จึงเรียกปรากฏการณ์การยืมพลังงานในช่วงเวลาสั้นๆ นี้ว่า ควอนตัมฟลักทูเอชัน (Quantum fluctuation) นักฟิสิกส์ยังคงค้นหาคำอธิบายปรากฏการณ์ควอนตัม ฟลักทูเอชัน โดยใช้ทฤษฎีต่างๆ เช่น การมีมิติพิเศษ (Extra dimensions) นอกเหนือจากมิติพื้นที่ (Space) และมิติเวลา (Time)

นอกจากนี้ นักฟิสิกส์ยังมีข้อสงสัยด้วยว่า เหตุใดอนุภาคบางชนิดจึงมีมวลมาก ในขณะที่อนุภาคบางชนิดมีมวลน้อย หรือแม้กระทั่งไม่มีมวลเลย มวลที่แตกต่างกันของอนุภาคต่างๆ มีสาเหตุ

มาจากอะไร เมื่อพิจารณามวลของอนุภาคต่างๆ แล้ว มีเพียงแนวโน้มที่ว่า อนุภาคในรุ่นที่ 3 จะมีมวลมากกว่าอนุภาคในรุ่นที่ 2 และอนุภาคในรุ่นที่ 2 จะมีมวลมากกว่าอนุภาคในรุ่นที่ 1 เท่านั้น ด้วยเหตุนี้ นักฟิสิกส์จึงพยายามหาคำอธิบายในข้อสงสัยนี้ คำอธิบายที่มีความเป็นได้มากที่สุดและได้รับการกล่าวถึงมากที่สุดในขณะนี้ คือ คำอธิบายของปีเตอร์ ฮิกส์ (Peter Higgs) ในปี ค.ศ. 1964 ฮิกส์ตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับการมีอยู่ของอนุภาคชนิดหนึ่ง ซึ่งต่อมาได้ชื่อว่า ฮิกส์โบซอน (Higgs boson) เขาเสนอว่า ในช่วงแรกหลังจากการกำเนิดจักรวาล อนุภาคต่างๆ ยังไม่มีมวล อนุภาคเหล่านี้ได้รับมวลหลังจากการมีอันตรกิริยากับฮิกส์โบซอน อนุภาคที่มีอันตรกิริยากับฮิกส์โบซอนมากจะมีมวลมาก และอนุภาคที่ไม่มีอันตรกิริยากับฮิกส์โบซอนก็จะไม่มีมวลเลย

ความรู้ทางทฤษฎีและผลการทดลองต่างๆ ทำให้นักฟิสิกส์สามารถสร้างแบบจำลองที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ในระดับฟิสิกส์อนุภาคได้อย่างเป็นระบบมากขึ้น นักฟิสิกส์เรียกแบบจำลองนี้ว่า แบบจำลองมาตรฐาน (Standard model) ดังแสดงในภาพที่ 23 ในปัจจุบัน นักฟิสิกส์ทราบว่า อนุภาคมูลฐานมี 2 กลุ่ม คือ ควาร์ก และเลปตอน โดยควาร์กมี 6 ชนิด คือ อัปควาร์ก ดาวน์ควาร์ก ชาร์มควาร์ก สเตรนจ์ควาร์ก บอททอมควาร์ก และทอปควาร์ก และเลปตอนมี 6 ชนิดเช่นกัน คือ อิเล็กตรอน อิเล็กตรอนนิวตริโน มิวออน มิวออนนิวตริโน ทาว และทาวนิวตริโน อนุภาคมูลฐานแต่ละตัวมีปฏิอนุภาคของมันเอง อนุภาคอื่นๆ เกิดจากการประกอบกันขึ้นของอนุภาคมูลฐานและ/หรือปฏิอนุภาคมูลฐานเหล่านี้ นอกจากนี้ นักฟิสิกส์ทราบด้วยว่า อันตรกิริยาหรือแรงระหว่างอนุภาคมีด้วยกัน 4 ชนิด คือ แรงโน้มถ่วง แรงแม่เหล็กไฟฟ้า แรงนิวเคลียร์อย่างอ่อน และแรงนิวเคลียร์อย่างเข้ม แรงเหล่านี้เกิดจากการแลกเปลี่ยนอนุภาคนำแรงหรือโบซอนระหว่างอนุภาค 2 อนุภาค



ภาพที่ 23 แสดงแบบจำลองมาตรฐาน

ที่มา: http://www.cpepweb.org/images/chart_2006_4.jpg

แม้ว่าแบบจำลองมาตรฐานสามารถอธิบายปรากฏการณ์ในระดับฟิสิกส์อนุภาคได้อย่างน่าพอใจ นักฟิสิกส์ตระหนักดีว่า แบบจำลองมาตรฐานยังไม่ใช่คำตอบสุดท้าย กล่าวคือ ยังมีข้อสงสัยบางอย่างที่กำลังรอให้นักฟิสิกส์ค้นคว้าหาคำตอบ ตัวอย่างเช่น

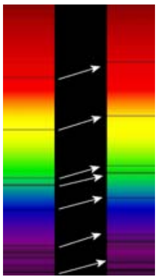
- แม้ว่าแรงโน้มถ่วงจะมีบทบาทน้อยมากในปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์อนุภาค แรงโน้มถ่วงเกี่ยวข้องกับแบบจำลองมาตรฐานอย่างไร และหากอนุภาคนำแรงโน้มถ่วงหรือแกรวิตอนมีอยู่จริง แกรวิตอนมีสมบัติอย่างไร
- เหตุใดบางอนุภาคจึงมีมวลมาก บางอนุภาคจึงมีมวลน้อย และบางอนุภาคจึงไม่มีมวลเลย อนุภาคต่างๆ ได้มวลมาอย่างไร หากฮิกส์โบซอนมีจริง สมบัติของฮิกส์โบซอนเป็นอย่างไร
- ปรากฏการณ์ควอมตัมฟลักทูเอชันเกิดขึ้นได้อย่างไร ในช่วงเวลาสั้นๆ อนุภาค "ยืม" พลังงานจำนวนมากมาจากไหน
- เหตุใดสสารต่างๆ ที่คงอยู่ในปัจจุบันจึงประกอบขึ้นมาจากอนุภาคมูลฐาน ไม่ใช่ปฏิอนุภาคมูลฐาน

จักรวาลวิทยา

ความรู้ทางฟิสิกส์อนุภาคในปัจจุบัน (นั่นคือ แบบจำลองมาตรฐาน) ไม่เพียงให้คำตอบเกี่ยวกับองค์ประกอบย่อยของสสาร และอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคเหล่านั้น แต่ยังช่วยให้นักฟิสิกส์เข้าใจปรากฏการณ์ในระดับจักรวาลอีกด้วย ทั้งนี้เพราะนักฟิสิกส์มีความเชื่อว่า กฎเกณฑ์ที่ควบคุมปรากฏการณ์ในระดับอนุภาค เป็นกฎเกณฑ์เดียวกันกับกฎเกณฑ์ที่ควบคุมปรากฏการณ์ในระดับจักรวาล (Giudice, 2010) ดังนั้น การศึกษาทางฟิสิกส์อนุภาคและการศึกษาทางจักรวาลวิทยาจึงมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด (Servant, 2011) กล่าวคือ ข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากการชนกันของโปรตอนภายใน "เครื่องเร่งฮาดรอนแบบปะทะขนาดใหญ่" ของเซิร์น สามารถนำนักจักรวาลวิทยาไปสู่คำตอบของคำถามต่างๆ ที่เกี่ยวกับจักรวาลได้ เช่น จักรวาลประกอบขึ้นจากอะไร จักรวาลมีโครงสร้างอย่างไร จักรวาลเกิดขึ้นได้อย่างไร วิวัฒนาการของจักรวาลตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงปัจจุบันเป็นอย่างไร และกฎเกณฑ์อะไรที่ควบคุมปรากฏการณ์ในระดับจักรวาล

แม้ว่าในปัจจุบัน ยังไม่มีทฤษฎีใดๆ ที่สามารถอธิบายการกำเนิดจักรวาลได้อย่างชัดเจน ทฤษฎีการกำเนิดจักรวาลที่ได้รับการยอมรับกันในกลุ่มนักวิทยาศาสตร์ คือ ทฤษฎีการระเบิดครั้งใหญ่ (Big Bang) ทฤษฎีนี้อธิบายว่า เมื่อประมาณหนึ่งหมื่นสามพันเจ็ดร้อยล้านปีที่แล้ว จักรวาลมีขนาดเล็ก

และเต็มไปด้วย “บางสิ่ง[29]” ซึ่งต่อมาได้กลายเป็นอนุภาคมูลฐาน “บางสิ่ง” ที่ว่านี้มีพลังงานสูงและมีจำนวนมากในจักรวาลขณะนั้น ด้วยเหตุนี้ “บางสิ่ง” เหล่านี้จึงเกิดการชนกันอย่างต่อเนื่อง ทำให้จักรวาลขยายตัวออกอย่างรวดเร็ว หลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนการขยายตัวของจักรวาล คือ การสังเกตสเปกตรัมของแสงจากดาวฤกษ์ที่อยู่ห่างไกลออกไป ซึ่งมีความยาวคลื่นที่เบี่ยงเบนไปทางช่วงความยาวคลื่นสีแดง (Redshift) เมื่อเทียบกับสเปกตัมของแสงจากดวงอาทิตย์ (ดังแสดงในภาพที่ 24)



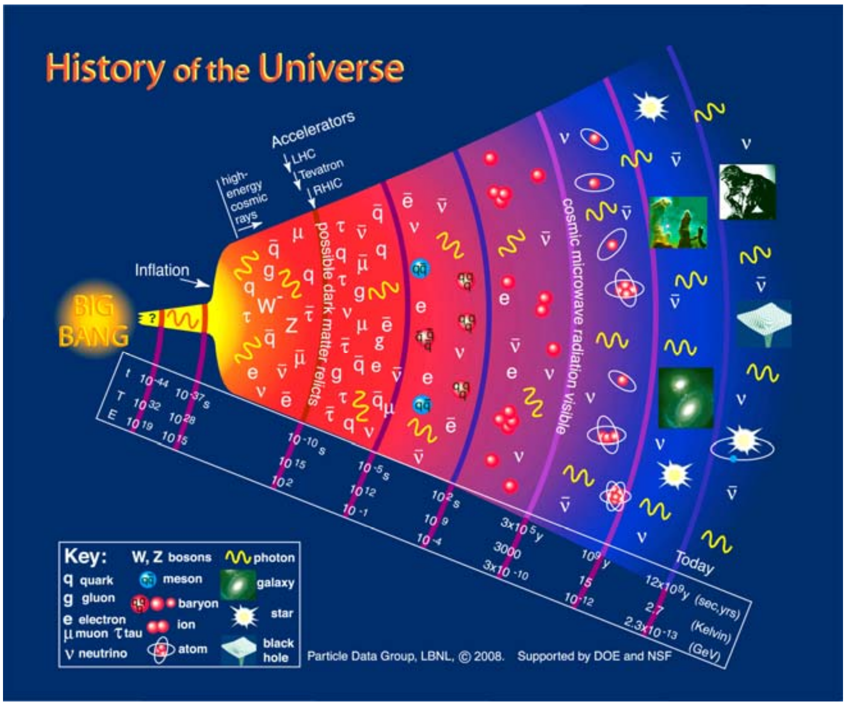
ภาพที่ 24 แสดงสเปกตรัมของแสงจากดาวฤกษ์ห่างไกล (ขวามือ)
เทียบกับสเปกตรัมของแสงจากดวงอาทิตย์ (ซ้ายมือ)
ที่มา: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Redshift.png

ความรู้จากการศึกษาปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ (Doppler Effect) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดคลื่นที่กำลังเคลื่อนที่สัมพัทธ์กับผู้สังเกต ทำให้นักวิทยาศาสตร์อนุมานได้ว่า ดาวฤกษ์ที่ตนเองกำลังสังเกตสเปกตรัมของมันอยู่นั้น กำลังเคลื่อนที่ออกไป นั่นหมายความว่าจักรวาลมีการขยายตัว

ทฤษฎีการระเบิดครั้งใหญ่อธิบายต่อไปว่า การขยายตัวของจักรวาลอันเนื่องมาจากการชนกันของ “บางสิ่ง” ทำให้จักรวาลค่อยๆ เย็นตัวลง ภายในช่วงเวลาประมาณ 10^{-37} วินาทีหลังจากนั้น “บางสิ่ง” เหล่านั้นก็ก่อตัวกันขึ้นเป็นอนุภาคมูลฐานและปฏิอนุภาคมูลฐานต่างๆ จนกระทั่งเวลาประมาณ 10^{-5} วินาทีหลังจากการระเบิดครั้งใหญ่ อุณหภูมิและพลังงานที่ต่ำลงทำให้อนุภาคมูลฐานและปฏิอนุภาคมูลฐานรวมตัวกันเป็นอนุภาคในกลุ่มแบริออนและอนุภาคในกลุ่มเมซอน การชนกันของอนุภาคต่างๆ ยังคงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งเวลาผ่านไปประมาณสามแสนปีหลังจากการการระเบิดครั้งใหญ่ อะตอมขนาดเล็ก เช่น อะตอมของไฮโดรเจนและอะตอมของฮีเลียมจึงเกิดขึ้นและตามมาด้วยการเกิดขึ้นของอะตอมที่มีขนาดใหญ่กว่า กระบวนการรวมตัวกันของอะตอมต่างๆ เกิดขึ้นอย่างช้าๆ แต่ต่อเนื่อง จนกระทั่งเกิดเป็นดวงดาวและกาแล็กซี่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณหนึ่งพันล้านปีหลังจากการระเบิดครั้งใหญ่ เนื่องจากอนุภาคมูลฐานบางชนิด เช่น นิวตริโนต่างๆ แทบไม่มี

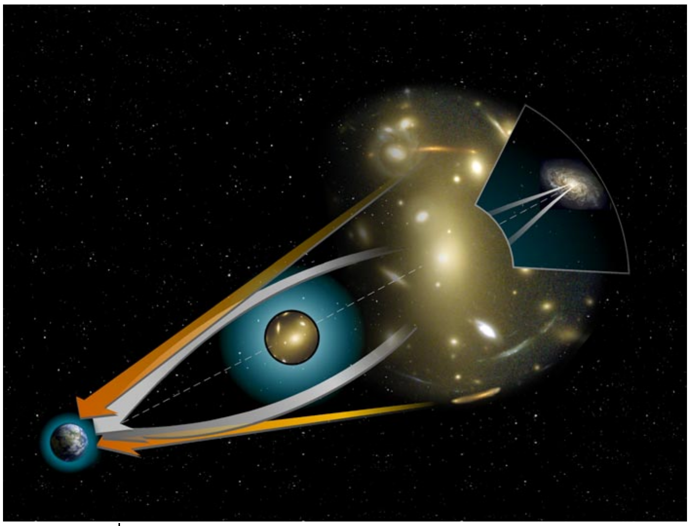
[29] ผู้เขียนต้องขออภัยที่ไม่สามารถหาคำที่เหมาะสมมาใช้บรรยายสิ่งที่นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่า มันเคยเกิดขึ้น ณ ช่วงเวลาแรกของการกำเนิดจักรวาลได้ ผู้เขียนบางคนใช้คำว่า “a primordial soup of particles” (Giudice, 2010: 217) หรือ “ซุปควาร์ก” (บุรินทร์ และนรพัทธ์, 2552: 81)

อันตรกิริยากับอนุภาคอื่นๆ อนุภาคมูลฐานเหล่านี้จึงยังคงมีเหลืออยู่จนถึงปัจจุบัน ภาพที่ 25 แสดงวิวัฒนาการของจักรวาลตามคำอธิบายของทฤษฎีการระเบิดครั้งใหญ่



ภาพที่ 25 แสดงวิวัฒนาการของจักรวาลตามคำอธิบายของทฤษฎีการระเบิดครั้งใหญ่
ที่มา: http://www.particleadventure.org/images/history-universe-08.jpg

แม้ว่าทฤษฎีการระเบิดครั้งใหญ่สามารถอธิบายการกำเนิดและวิวัฒนาการของจักรวาลได้อย่างสอดคล้องกับความรู้ทางฟิสิกส์อนุภาคในปัจจุบัน ทฤษฎีดังกล่าวยังไม่สามารถให้คำตอบในข้อสงสัยบางอย่างได้ หนึ่งในข้อสงสัยที่ว่านี้ คือ การมีอยู่ของสสารลึกลับบางอย่างในจักรวาล ข้อสงสัยดังกล่าวเกิดขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 1937-1939 เนื่องจากการค้นพบปรากฏการณ์การโค้งงอของแสงในจักรวาล ปรากฏการณ์นี้ขัดแย้งกับความรู้ฟิสิกส์ดั้งเดิมที่ระบุว่า แสงเดินทางเป็นเส้นตรง ดังนั้น การอธิบายปรากฏการณ์การโค้งงอของแสงจึงต้องอาศัยความรู้ฟิสิกส์แผนใหม่ ได้แก่ ทฤษฎีสัมพันธภาพ และ ทวิภาพของคลื่นและอนุภาค คำอธิบายที่สมเหตุสมผลคือว่า การโค้งงอของแสงเกิดขึ้นเนื่องจากอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคของแสงและสสารลึกลับบางอย่างในจักรวาล ต่อมานักวิทยาศาสตร์เรียกสสารลึกลับดังกล่าวว่าสสารมืด (Dark matter) ภาพที่ 26 แสดงการเกิดปรากฏการณ์การโค้งงอของแสงในจักรวาล



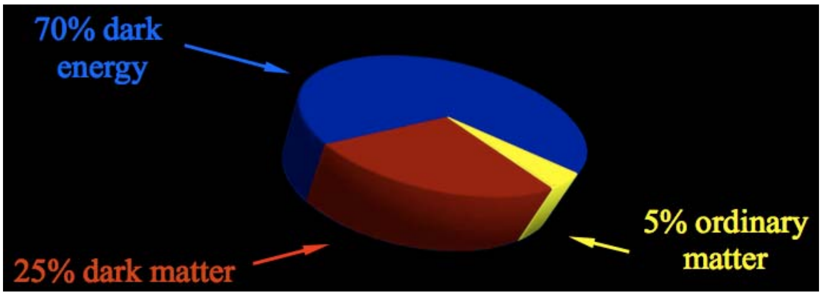
ภาพที่ 26 แสดงปรากฏการณ์การโค้งงอของแสงในจักรวาล

ที่มา: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/02/Gravitational_lens-full.jpg

การมีอยู่อย่างลึกลับของสสารมืดในจักรวาลทำให้นักวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันสนใจศึกษาสมบัติของสสารมืดเพื่อบ่งชี้ว่าแท้จริงแล้วสสารมืดคืออะไร เนื่องจากสสารมืดสามารถมีอันตรกิริยากับอนุภาคของแสง ทำให้เกิดปรากฏการณ์การโค้งงอของแสงได้ นักวิทยาศาสตร์จึงสันนิษฐานว่า อนุภาคที่เป็นสสารมืดนั้นต้องมีมวลมากและสามารถมีอันตรกิริยานิวเคลียร์อย่างอ่อนได้ นักวิทยาศาสตร์เรียกอนุภาคที่ “น่าจะ” เป็นสสารมืดนี้ว่า วิมพ์ (WIMPs: Weakly Interacting Massive Particles) ซึ่งเป็นชื่อที่มาจากคำบรรยายสมบัติของสสารมืด อย่างไรก็ดี วิมพ์ไม่ใช่อนุภาคชนิดเดียวที่เป็น “ผู้ต้องสงสัย” ว่าจะเป็นสสารมืด กล่าวคือ นักทฤษฎีทางฟิสิกส์อนุภาคหลายคนได้เสนออนุภาคอื่นๆ ที่ “น่าจะ” เป็นสสารมืดด้วยเช่นกัน แอกซิออน (Axion) แอกซิโน (Axino) แกรวิตอน (Graviton) และแกรวิติโน (Gravitino) เป็นต้น (Servant, 2011: 39-40) ผลจากการทดลองเท่านั้นที่จะสามารถให้ข้อมูลว่าอนุภาคใดเป็นอนุภาคของสสารมืด

นอกจากการมีอยู่ของสสารมืดแล้ว ยังมีอีกข้อสงสัยหนึ่ง ที่ความรู้ทางฟิสิกส์อนุภาคในปัจจุบันและทฤษฎีการระเบิดครั้งใหญ่ ยังไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ในระดับจักรวาลได้ ข้อสงสัยนี้สืบเนื่องมาจากการขยายตัวของจักรวาล การสังเกตสเปกตรัมของดาวที่อยู่ห่างไกลไม่ได้บอกเพียงว่าจักรวาลกำลังขยายตัว หากแต่บอกด้วยว่า การขยายตัวนั้นเป็นการขยายตัวด้วยความเร่ง ข้อสงสัยคือว่า อะไรเป็นสาเหตุที่ทำให้จักรวาลขยายตัวด้วยความเร่ง ทั้งๆ ที่แรงโน้มถ่วงดึงดูดสสารต่างๆ ในจักรวาลเข้าไว้ด้วยกัน ข้อสงสัยนี้ทำให้นักจักรวาลวิทยาตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับการมีอยู่ของพลังงานลึกลับในจักรวาล ซึ่งเป็นสาเหตุให้จักรวาลขยายตัวด้วยความเร่ง สมมติฐานเกี่ยวกับพลังงานลึกลับสอดรับกับข้อสงสัยของนักฟิสิกส์อนุภาคเกี่ยวกับการยืมพลังงานในช่วงเวลาสั้นๆ ระหว่างการมีอันตรกิริยากันของอนุภาคที่ว่า “อนุภาคยืมพลังงานมาจากไหน” ในปัจจุบันนักฟิสิกส์อนุภาคและนักจักรวาลวิทยาเรียกพลังงานลึกลับนี้ว่า พลังงานมืด (Dark energy) การประมาณองค์ประกอบต่างๆ

ในจักรวาลระบุว่า พลังงานมืดมีประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือสสารมืดประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ และสสารทั่วไปที่นักวิทยาศาสตร์รู้จักประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 27 แสดงการประมาณอัตราส่วนขององค์ประกอบต่างๆ ในจักรวาล
ที่มา: Servant (2011#93)

เครื่องเร่งและเครื่องตรวจวัดอนุภาค

การศึกษาปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์อนุภาคในปัจจุบันจำเป็นต้องอาศัยเครื่องเร่งอนุภาค เพื่อเร่งให้อนุภาคจำนวนมากมีพลังงานสูง ก่อนควบคุมให้อนุภาคพลังงานสูงเหล่านั้นชนกัน เพื่อตรวจวัดและศึกษาสมบัติของอนุภาคใหม่ๆ ที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนรูปของพลังงานของอนุภาคที่ชนกันเหล่านั้น เนื่องจากอนุภาคบางอนุภาค ที่นักฟิสิกส์อนุภาคต้องการศึกษา มีมวลหรือพลังงานที่สูงมาก ระดับพลังงานของอนุภาคก่อนชนจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดว่า อนุภาคที่นักฟิสิกส์อนุภาคต้องการศึกษานั้นจะเกิดขึ้นหรือไม่ ในปัจจุบัน เครื่องเร่งอนุภาคที่ใหญ่และทรงพลังที่สุดของเซิร์น คือ เครื่องเร่งฮาดรอนแบบปะทะขนาดใหญ่ หรือในชื่อย่อที่ว่า “แอล เอช ซี” เครื่องเร่งอนุภาคดังกล่าวเป็นเครื่องเร่งอนุภาคแบบวงกลม[30] (Circular accelerator) ซึ่งมีเส้นรอบวงยาวประมาณ 27 กิโลเมตร อยู่ใต้ดินลึกเฉลี่ยประมาณ 100 เมตร เนื้อหาต่อไปนี้เป็นรายละเอียดเกี่ยวกับ“แอล เอช ซี”

“แอล เอช ซี” ถูกออกแบบมาสำหรับเร่งโปรตอน ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีสภาพทางไฟฟ้าเป็นบวก ให้มีพลังงานสูง การเร่งโปรตอนสามารถทำได้โดยการใช้สนามไฟฟ้า โดยอาศัยความรู้ฟิสิกส์ที่ว่า เมื่ออนุภาคที่มีสภาพทางไฟฟ้าไม่เป็นกลาง (ในที่นี้คือ โปรตอน) อยู่ในสนามไฟฟ้า จะมีแรงทางไฟฟ้ากระทำกับอนุภาคนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างแรงทางไฟฟ้า ประจุไฟฟ้าของอนุภาค และสนามไฟฟ้าเป็นไปตามสมการ

---

[30] เครื่องเร่งอนุภาคโดยทั่วไปมีอยู่ 2 ประเภท คือ 1) เครื่องเร่งอนุภาคแบบทางตรง และ 2) เครื่องเร่งอนุภาคแบบวงกลม เครื่องเร่งอนุภาคแต่ละแบบมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน การสร้างเครื่องเร่งแบบแรกทำได้ง่ายกว่าและประหยัดกว่าการสร้างเครื่องเร่งแบบหลัง แต่ในการเร่งอนุภาคให้มีพลังงานสูงนั้น เครื่องเร่งแบบหลังจะประหยัดพื้นที่ได้มากกว่าเครื่องเร่งแบบแรก

$$F = qE$$

เมื่อ

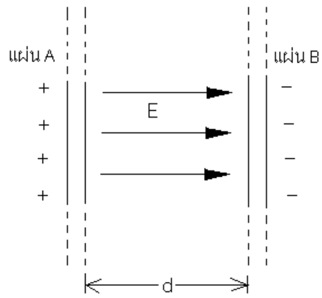
F คือ แรงที่กระทำต่ออนุภาค มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

q คือ ประจุไฟฟ้าของอนุภาค มีหน่วยเป็นคูลอมบ์ (c)

E คือ สนามไฟฟ้าที่ใช้เร่งอนุภาค มีหน่วยเป็นนิวตันต่อคูลอมบ์ (N/c)

และจากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน ($\Sigma F = ma$) ที่ว่า เมื่อแรงลัพธ์ที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ มากระทำกับวัตถุใดๆ (ในกรณีนี้ คือ โปรตอน) วัตถุนั้นจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง นั่นคือ สนามไฟฟ้าของ "แอล เอช ซี" ทำให้เกิดแรงทางไฟฟ้าที่กระทำต่อโปรตอน และแรงทางไฟฟ้านั้นทำให้โปรตอนเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง และมีพลังงานสูงขึ้น

โดยทั่วไป การสร้างสนามไฟฟ้าสามารถทำได้โดยการใช้แผ่นโลหะคู่ขนาน (หรือขั้วโลหะ 2 ขั้ว) ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าที่มีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 28 แผ่นโลหะ A มีศักย์ไฟฟ้ามากกว่าแผ่นโลหะ B ซึ่งถูกแทนด้วยเครื่องหมายบวก (+) และเครื่องหมายลบ (-) ตามลำดับ



ภาพที่ 28 แสดงสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะที่มีศักย์ไฟฟ้าต่างกัน

ที่มา: http://www.vcharkarn.com/uploads/5/5704.gif

สนามไฟฟ้าจะมีทิศจากแผ่นโลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้ามากไปยังแผ่นโลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าน้อยกว่า โดยขนาดของสนามไฟฟ้าจะเป็นไปตามความสัมพันธ์ตามสมการ

$$E = \Delta V/d$$

เมื่อ

E คือ สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะ มีหน่วยเป็นนิวตันต่อคูลอมบ์ (N/c)

ΔV คือ ค่าความต่างศักย์ของแผ่นโลหะทั้งสอง มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

d คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะ มีหน่วยเป็นเมตร (m)

อย่างไรก็ตาม การสร้างสนามไฟฟ้าใน "แอล เอช ซี" เพื่อเร่งโปรตอนให้เคลื่อนที่ได้อย่างต่อเนื่องมีความซับซ้อนมากกว่านั้น กล่าวคือ สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะคู่ขนานสามารถเร่งโปรตอนให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้เฉพาะในขณะที่โปรตอนอยู่ระหว่างแผ่นโลหะคู่ขนานเท่านั้น เมื่อ

โปรตอนเคลื่อนที่ผ่านแผ่นโลหะที่มีศักย์ไฟฟ้าลบไปแล้ว จะมีแรงทางไฟฟ้าที่ดึงให้โปรตอนเคลื่อนที่กลับมายังแผ่นโลหะไฟฟ้าลบเช่นเดิม ทำให้โปรตอนไม่สามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้อย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้ นักฟิสิกส์และวิศวกรจำเป็นต้องใช้แผ่นโลหะคู่ขนานจำนวนมากเรียงตัวกันเป็นลำดับ เพื่อเร่งโปรตอนให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้อย่างต่อเนื่อง แผ่นโลหะคู่ขนานเหล่านี้สามารถเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าสลับไปมาได้ เมื่อโปรตอนเคลื่อนที่ผ่านแผ่นโลหะที่มีศักย์ไฟฟ้าลบไปแล้ว แผ่นโลหะที่มีศักย์ไฟฟ้าลบนั้นจะเปลี่ยนไปมีศักย์ไฟฟ้าบวก และแผ่นโลหะที่มีศักย์ไฟฟ้าบวกจะเปลี่ยนไปมีศักย์ไฟฟ้าลบ ทำให้เกิดแรงทางไฟฟ้าที่ผลักให้โปรตอนเคลื่อนที่ต่อไปข้างหน้า กระบวนการนี้จะดำเนินต่อไปจนกระทั่งโปรตอนมีพลังงานสูงเพียงพอ[31]

เนื่องจาก “แอล เอช ซี” เป็นเครื่องเร่งอนุภาคแบบวงกลม นักฟิสิกส์และวิศวกรจึงจำเป็นต้องบังคับให้โปรตอนเคลื่อนที่เป็นวงกลมอยู่ภายในท่อของ “แอล เอช ซี” โดยไม่มีการชนกับท่อ วิธีการควบคุมให้โปรตอนเคลื่อนที่ในลักษณะดังกล่าวอาศัยความรู้ฟิสิกส์ที่ว่า เมื่ออนุภาคที่มีสภาพทางไฟฟ้าที่ไม่เป็นกลางกำลังเคลื่อนที่อยู่ภายในสนามแม่เหล็ก จะมีแรงกระทำกับอนุภาคนั้นในทิศตั้งฉากทั้งกับทิศของสนามแม่เหล็กและทิศการเคลื่อนที่ของอนุภาค นักฟิสิกส์เรียกแรงที่ว่านี้ว่าแรงลอเรนซ์ (Lorentz force) โดยขนาดของแรงลอเรนซ์จะเป็นไปตามสมการ

$$F = qvB\sin\theta$$

เมื่อ

F คือ ขนาดของแรงลอเรนซ์ มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

q คือ ค่าประจุไฟฟ้าของอนุภาค มีหน่วยเป็นคูลอมบ์ (c)

v คือ อัตราเร็วของอนุภาค มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)

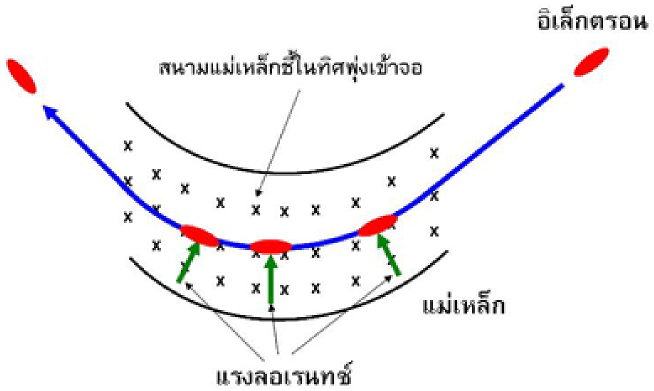
B คือ ขนาดของสนามแม่เหล็กที่อนุภาคเคลื่อนที่ผ่าน มีหน่วยเป็นเทสลา (B)

$\sin\theta$ คือ ค่าไซน์ของมุมระหว่างทิศของสนามแม่เหล็กและทิศการเคลื่อนที่ของอนุภาค

ภาพที่ 29 แสดงแรงลอเรนซ์ที่เกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอน (ซึ่งมีสภาพทางไฟฟ้าเป็นลบ) เคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก

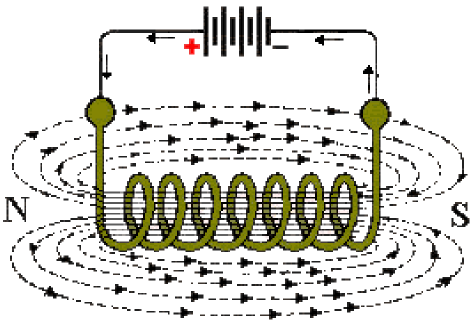
[31] ผู้อ่านสามารถศึกษาโปรแกรมจำลองการเร่งโปรตอนเพิ่มเติมได้ที่:

1. http://microcosm.web.cern.ch/Microcosm/RF_cavity/ex.html
2. http://microcosm.web.cern.ch/microcosm/LHCGame/LHCGame.html



ภาพที่ 29 แสดงแรงลอเรนซ์ที่เกิดขึ้น เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก
ที่มา: http://www.slri.or.th/th/article_images/knowledge/22/ebend2.jpg

เนื่องจากโปรตอนที่กำลังเคลื่อนที่ภายในท่อของ “แอล เอช ซี” มีพลังงานสูงมาก (ประมาณ 7 เทระอิเล็กตรอนโวลต์) การเบี่ยงเบนทิศการเคลื่อนที่ของโปรตอน[32] จำเป็นต้องอาศัยสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มสูงมาก (ประมาณ 8.3 เทสลา) (CERN, 1999a) อย่างไรก็ตาม แม่เหล็กตามธรรมชาติไม่สามารถสร้างสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มสูงในระดับนี้ได้[33] ดังนั้น นักฟิสิกส์และวิศวกรจึงจำเป็นต้องสร้างสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มสูง โดยใช้กฎการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าของฟาราเดย์ (Faraday’s Law of Electromagnetic Induction) กล่าวคือ นักฟิสิกส์และวิศวกรสร้างกระแสไฟฟ้าขึ้นภายในขดลวดตัวนำ กระแสไฟฟ้าดังกล่าวจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 30



ภาพที่ 30 แสดงการเกิดสนามแม่เหล็ก เมื่อมีกระแสไฟฟ้าภายในขดลวด
ที่มา: http://basesciences.com/UserFiles/2007/5/5/electromagnetism3.gif

โดยสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะมีค่าตามสมการ

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

เมื่อ

[32] การเบี่ยงเบนทิศการเคลื่อนที่ของโปรตอนให้เคลื่อนที่อยู่ในท่อของ “แอล เอช ซี” จะทำให้โปรตอนสูญเสียพลังงานไปส่วนหนึ่งในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

[33] สนามแม่เหล็กของแม่เหล็ก 2 ขั้วทั่วไปมีค่าประมาณ 2 เทสลา (Gilardoni, 2011#11)

B คือ สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำที่เกิดจากกระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็นเทสลา (T)

μ_0 คือ ค่าความซึมผ่านได้ (Permeability) ของสุญญากาศ

I คือ กระแสไฟฟ้าในขดลวด มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

r คือ ระยะห่างจากขดลวดไปยังจุดที่พิจารณาสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเมตร (m)

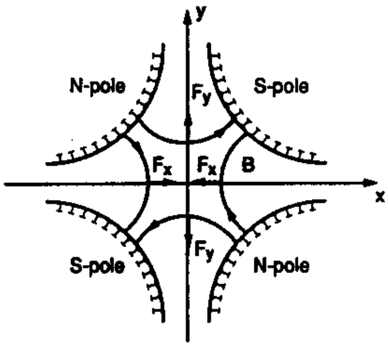
¶ คือ ค่าคงตัว มีค่าประมาณ 3.14

สมการข้างต้นแสดงให้เห็นว่า สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะมีค่าขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าในขดลวด นั่นคือ การสร้างสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มสูงมากจำเป็นต้องใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้ามากตามไปด้วย เนื่องจากกฎของโอห์ม (Ohm's Law) ระบุว่า เมื่อแหล่งกำเนิดไฟฟ้ามีแรงเคลื่อนไฟฟ้าคงตัว ปริมาณกระแสไฟฟ้าในตัวนำใดๆ จะมีค่าผกผันกับค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวนำ ดังนั้น การลดความต้านทานไฟฟ้าของขดลวด เพื่อเป็นการประหยัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็ก จึงเป็นสิ่งจำเป็น ในการนี้ นักฟิสิกส์และวิศวกรอาศัยความรู้ฟิสิกส์ที่ว่า เมื่อตัวนำใดๆ มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิค่าหนึ่ง ซึ่งนักฟิสิกส์เรียกว่า อุณหภูมิวิกฤติ (Critical temperature) ค่าความต้านไฟฟ้าของตัวนำนั้นจะมีค่าลดลงเป็นศูนย์ นักฟิสิกส์เรียกสภาวะที่ตัวนำใดๆ มีค่าความต้านทานไฟฟ้าเป็นศูนย์นี้ว่า สภาพนำไฟฟ้ายิ่งยวด (Superconductivity) การควบคุมอุณหภูมิของขดลวดให้มีอุณภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤติ เพื่อลดค่าความต้านทานไฟฟ้าของขดลวด จึงช่วยให้นักฟิสิกส์และวิศวกรสามารถสร้างสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มสูงได้

วัสดุที่ใช้ทำขดลวดสำหรับการสร้างสนามแม่เหล็กของ "แอล เอช ซี" คือวัสดุผสมระหว่างนีโอเบียม (Niobium) และไทเทเนียม (Titanium) (CERN, 1999a) ซึ่งมีอุณภูมิวิกฤติประมาณ 9.2 เคลวิน นักฟิสิกส์และวิศวกรจึงต้องควบคุมอุณหภูมิของขดลวดไม่ให้เกินอุณหภูมิวิกฤติดังกล่าว ในการนี้ นักฟิสิกส์และวิศวกรที่เซิร์นใช้ฮีเลียม ซึ่งมีจุดเดือดต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤติของวัสดุที่ใช้ทำขดลวด (ประมาณ 4.2 เคลวิน) ในการควบคุมอุณหภูมิของขดลวด อย่างไรก็ตาม หากระบบการควบคุมอุณหภูมิเกิดขัดข้องไม่ว่าด้วยสาเหตุใดก็ตาม ทำให้ขดลวดมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤติ ขดลวดจะมีค่าความต้านทานไฟฟ้าเกิดขึ้น กระแสไฟฟ้าปริมาณมากในขดลวดจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นในขดลวด และส่งผลให้อุณภูมิของขดลวดมีค่าสูงขึ้น และมีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงขึ้นตามลำดับ เหตุการณ์นี้จะทำให้สนามแม่เหล็กมีค่าลดลง และไม่เพียงพอในการเบี่ยงเบนโปรตอนให้เคลื่อนที่ภายในท่อ "แอล เอช ซี" ทำให้โปรตอนชนท่อของ "แอล เอล ซี" ในปัจจุบัน อุณหภูมิของขดลวดถูกควบคุมไว้ที่ 1.9 เคลวิน เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว (Gilardoni, 2011#11)

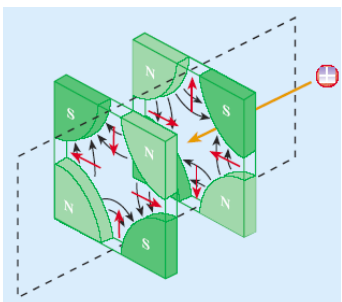
เนื่องจากโปรตอนมีขนาดเล็กมาก การควบคุมให้โปรตอนเคลื่อนที่มาชนกันในท่อของ "แอล เอช ซี" จึงเป็นเรื่องที่ท้ายทายนักฟิสิกส์และวิศวกรอย่างมาก บ่อยครั้งที่โปรตอนเคลื่อนที่ "สวนกัน"

แทนที่จะ “ชนกัน” ข้อจำกัดนี้ทำให้นักฟิสิกส์และวิศวกรต้องเร่งโปรตอนจำนวนมากเป็นกลุ่มๆ โดยบีบให้โปรตอนเหล่านั้นอยู่ใกล้กันอย่างหนาแน่น[34] การอยู่กันอย่างหนาแน่นของโปรตอนสามารถช่วยเพิ่มความเป็นไปได้ของการชนกันของโปรตอน อย่างไรก็ตาม นักฟิสิกส์และวิศวกรต้องพบกับอีกความท้าทายหนึ่ง นั่นคือ การผลักซึ่งกันและกันของโปรตอน เนื่องจากสภาพทางไฟฟ้าที่เหมือนกันของโปรตอน แรงดังกล่าวทำให้โปรตอนมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ออกห่างจากกัน นักฟิสิกส์และวิศวกรจึงต้องใช้สนามแม่เหล็กเพื่อบีบให้โปรตอนเคลื่อนที่อยู่ใกล้กัน หลักการที่ใช้บีบโปรตอนคือหลักการที่ใช้เบี่ยงเบนโปรตอนให้เคลื่อนที่เป็นวงกลม นั่นคือ การใช้แรงลอเรนซ์ อย่างไรก็ตาม สิ่งที่แตกต่างกันระหว่างวิธีการทั้งสองคือว่า การเบี่ยงเบนโปรตอนใช้แม่เหล็ก 2 ขั้ว (Dipole) ในขณะที่การบีบโปรตอนใช้แม่เหล็ก 4 ขั้ว (Quadruple) ดังแสดงในภาพที่ 31



ภาพที่ 31 แสดงการใช้สนามแม่เหล็ก 4 ขั้วบีบให้โปรตอนอยู่ใกล้กันอย่างหนาแน่น
ที่มา: Gilardoni (2011#14)

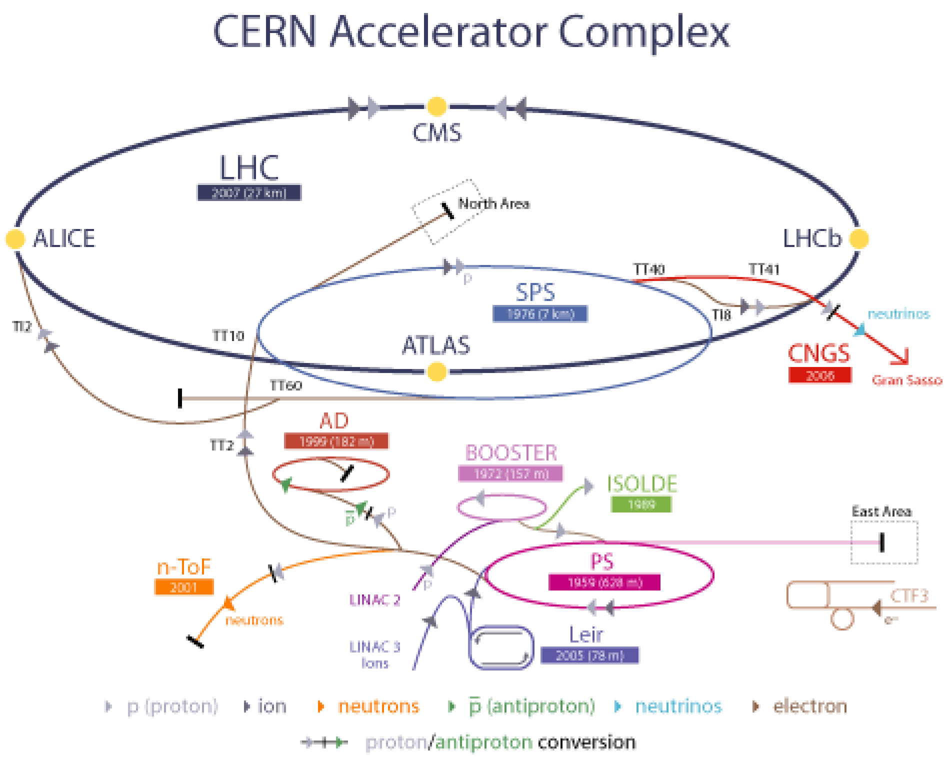
เนื่องจากแม่เหล็ก 4 ขั้วใดๆ สามารถบีบโปรตอนได้เพียงในแนวเดียวเท่านั้น นั่นคือ แนวดิ่งหรือแนวระดับ ตัวอย่างเช่น ภาพที่ 31 แสดงการบีบโปรตอนในแนวระดับ (ดังจะเห็นได้จาก F_x มีทิศพุ่งเข้าสู่จุดศูนย์กลางของท่อ ในขณะที่ F_y มีทิศพุ่งออกจากจุดศูนย์กลางของท่อ) การบีบโปรตอนได้เพียงแนวเดียวนี้ทำให้โปรตอนเคลื่อนที่กระจายออกไปอีกแนวหนึ่ง ด้วยเหตุนี้ นักฟิสิกส์และวิศวกรจึงต้องใช้สนามแม่เหล็ก 4 ขั้ว จำนวน 2 ชุด ในบริเวณใกล้เคียงกัน เพื่อบีบโปรตอนทั้งในแนวดิ่งและในแนวระดับ ดังแสดงในภาพที่ 32



ภาพที่ 32 แสดงการจัดวางสนามแม่เหล็ก 4 ขั้ว เรียงกันในท่อของ “แอล เอช ซี”
ที่มา: http://www.lhc-closer.es/img/subidas/4_6_3_3.png

[34] สิ่งที่แสดงถึงความหนาแน่นของโปรตอนในท่อของ “แอล เอช ซี” คือ ลูมินอซิตี้ (Luminosity)

ในทางปฏิบัติ นักฟิสิกส์ที่เซิร์นเร่งโปรตอนโดยใช้เครื่องเร่งอนุภาคหลายเครื่อง โดยเครื่องเร่งอนุภาคแต่ละเครื่องมีขีดความสามารถในการเร่งโปรตอนให้มีพลังงานสูงสุดในระดับที่แตกต่างกันไป "แอล เอช ซี" เป็นเครื่องเร่งอนุภาคของเซิร์น ที่สามารถเร่งโปรตอนให้พลังงานสูงสุด ณ เวลาปัจจุบัน ภาพที่ 33 แสดงแผนภาพเครื่องเร่งอนุภาคต่างๆ ของเซิร์น



ภาพที่ 33 แสดงแผนภาพของเครื่องเร่งอนุภาคของเซิร์น

ที่มา: http://public.web.cern.ch/public/Objects/Research/AccComplex0700829.gif

ในตอนเริ่มต้น โปรตอนที่ผ่านกระบวนการสกัดจากนิวเคลียสของตะกั่ว (CERN, 1999b) ถูกป้อนเข้าสู่เครื่องเร่งแบบทางตรงที่มีชื่อว่า ลิแนค 2 (LINAC 2) ซึ่งจะเร่งให้โปรตอนมีพลังงานประมาณ 50 เมกกะอิเล็กตรอนโวลต์ จากนั้นโปรตอนจากลิแนค 2 จะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องเร่งอนุภาคแบบวงกลม ที่มีชื่อว่า บูสเตอร์ (Booster) โปรตอนซินโครตรอน (Proton Synchrotron: PS) ซุปเปอร์โปรตอนซินโครตรอน (Super Proton Synchrotron: SPS) ซึ่งจะเร่งโปรตอนให้มีพลังงานประมาณ 1.4 จิกะอิเล็กตรอนโวลต์ 25 จิกะอิเล็กตรอนโวลต์ และ 450 จิกะอิเล็กตรอนโวลต์ ตามลำดับ (CERN, 2010) ก่อนที่โปรตอนจะถูกส่งเข้าสู่ "แอล เอช ซี" ซึ่งจะเร่งให้โปรตอนมีพลังงานประมาณ 7 เทระอิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งเป็นระดับพลังงานที่นักฟิสิกส์ใช้ศึกษาปรากฏการณ์ในระดับฟิสิกส์อนุภาคในปัจจุบัน

ภายใน "แอล เอช ซี" มีโปรตอนถูกเร่งให้เคลื่อนที่สวนทางกัน โปรตอนครึ่งหนึ่งเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกาในท่อย่อยหนึ่ง ในขณะที่โปรตอนอีกครึ่งหนึ่งเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกาในอีกท่อย่อยหนึ่ง จนกระทั่งโปรตอนในทั้งสองท่อมีพลังงานสูงเพียงพอ โปรตอนจากทั้งสองท่อจะถูกบังคับโดยสนามแม่เหล็กให้เคลื่อนที่มาชนกัน ณ ตำแหน่งที่นักฟิสิกส์ได้ติดตั้งเครื่องตรวจวัดอนุภาคไว้ เครื่องตรวจวัดอนุภาคจะตรวจวัดอนุภาคที่เกิดขึ้นจากการชนกันของโปรตอน ตลอดจนบันทึกสมบัติต่างๆ ของอนุภาคเหล่านั้น อย่างไรก็ตาม การชนกันของโปรตอนบางครั้งก็ไม่ก่อให้เกิดอนุภาคที่นักฟิสิกส์สนใจหรือคาดหวังไว้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะโปรตอนไม่ได้ชนกันอย่างจัง หากแต่เป็นเพียงการเฉี่ยวกันเท่านั้น ทำให้พลังงานของโปรตอนไม่เพียงพอแก่การเปลี่ยนรูปไปเป็นอนุภาคที่นักฟิสิกส์สนใจ นอกจากนี้ ความเป็นไปได้ทางสถิติของการเกิดอนุภาคที่นักฟิสิกส์สนใจนั้นอาจมีน้อยมาก[35] ด้วยเหตุนี้ นักฟิสิกส์และวิศวกรจำเป็นต้องออกแบบและสร้างเครื่องตรวจวัดที่มีประสิทธิภาพมาก เพื่อป้องกันการสูญเสีย "โอกาสทอง" เมื่ออนุภาคที่ตนเองสนใจเกิดขึ้น

เครื่องตรวจวัดอนุภาคหลักของเซิร์นในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกัน 4 เครื่อง[36] คือ

1. อลิซ (ALICE) หรือในชื่อเต็มในภาษาอังกฤษที่ว่า "**A** **L**arge **I**on **C**ollider **E**xperiment"
2. แอตลาส (ATLAS) หรือในชื่อเต็มในภาษาอังกฤษที่ว่า "**A** **T**oroidal **L**HC **A**pparatu**S**"
3. ซีเอ็มเอส (CMS) หรือในชื่อเต็มในภาษาอังกฤษที่ว่า "**C**ompact **M**uon **S**olenoid"
4. แอลเอชซีบี (LHCb) หรือในชื่อเต็มภาษาอังกฤษที่ว่า "**L**arge **H**adron **C**ollider **b**eauty"

นอกจากนี้ ยังมีเครื่องตรวจวัดอนุภาคย่อยอีก 2 เครื่อง คือ แอลเอชซีเอฟ (LHCf) หรือในชื่อเต็มภาษาอังกฤษที่ว่า "**L**arge **H**adron **C**ollider **f**orward" และ โทเทม (TOTEM) หรือในชื่อเต็มภาษาอังกฤษที่ว่า "**TOT**al **E**lastic and diffractive cross section **M**easurement" ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาข้อมูลทั่วไปและวัตถุประสงค์ของเครื่องตรวจวัดอนุภาคแต่ละเครื่องได้จาก "รายงานประจำปีการเข้าร่วมกิจกรรมโครงการนักศึกษา และครูสอนฟิสิกส์ ภาคฤดูร้อนเซิร์น" (สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน), 2553: 4-8) และ "เจาะเซิร์น" (บุรินทร์ และ นรพัทธ์, 2552: 132-141)

แม้ว่าเครื่องตรวจวัดอนุภาคแต่ละเครื่องถูกสร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน เครื่องตรวจวัดอนุภาคเหล่านี้มีหลักการทำงานพื้นฐานบางอย่างที่เหมือนหรือคล้ายกัน ดังนี้

[35] ผู้เขียนขอย้ำอีกครั้งว่า การเกิดขึ้นของอนุภาคหลังจากการชนกันของโปรตอนจะขึ้นอยู่กับความเป็นไปได้ทางสถิติ

[36] เป็นที่น่าเสียดายว่า ผู้เขียนได้มีโอกาสเยี่ยมชมเครื่องตรวจอนุภาคเพียง 2 เครื่องเท่านั้น คือ ซีเอ็มเอส และ แอลเอชซีบี

1. ทริกเกอร์ (Tricker) หรือระบบคัดเลือกเหตุการณ์ ซึ่งมีหน้าที่คัดกรองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจากการชนกันของโปรตอนเบื้องต้น เนื่องจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจากการชนกันของโปรตอนมีจำนวนมาก และบางเหตุการณ์ก็ไม่เป็นที่สนใจของนักฟิสิกส์[37] การคัดกรองเหตุการณ์สำคัญที่นักฟิสิกส์สนใจโดยทริกเกอร์จึงช่วยแบ่งเบาภาระงานของนักฟิสิกส์
2. แทรกเกอร์ (Tracker) หรือระบบติดตามร่องรอยทางเดินของอนุภาค ซึ่งให้ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพทางไฟฟ้าและโมเมนตัมของอนุภาคที่เกิดขึ้นจากการชนกันของโปรตอน การระบุสภาพทางไฟฟ้าและโมเมนตัมของอนุภาคสามารถทำได้โดยการใช้สนามแม่เหล็ก กล่าวคือ เมื่ออนุภาคที่มีสภาพทางไฟฟ้าไม่เป็นกลางเกิดขึ้นและเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก จะมีแรงลอเรนซ์กระทำกับอนุภาคนั้น ทำให้อนุภาคนั้นเคลื่อนที่ในแนววิถีโค้ง ทิศการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่เปลี่ยนไปจะแสดงถึงสภาพทางไฟฟ้าของอนุภาค และรัศมีความโค้งของการเคลื่อนที่ของอนุภาคจะแสดงถึงโมเมนตัมของอนุภาค
3. แคลอรีมิเตอร์ (Calorimeter) หรือระบบวัดพลังงานของอนุภาคที่เกิดขึ้นจากการชนกันของโปรตอน แคลอรีมิเตอร์มีอยู่ 2 ประเภท คือ อิเล็กโตรเมกนิติก แคลอรีมิเตอร์ (Electromagnetic calorimeter) ซึ่งให้ข้อมูลเกี่ยวกับพลังงานของอนุภาคที่สามารถมีอันตรกิริยาแม่เหล็กไฟฟ้า และ/หรือ อันตรกิริยานิวเคลียร์อย่างอ่อนได้ เช่น อิเล็กตรอน โพซิตรอน และโฟตอน และฮาดรอน แคลอรีมิเตอร์ (Hadron calorimeter) ซึ่งให้ข้อมูลเกี่ยวกับพลังงานของอนุภาคที่สามารถมีอันตรกิริยานิวเคลียร์อย่างเข้มได้ เช่น อนุภาคในกลุ่มแบริออน และอนุภาคในกลุ่มเมซอน หลักการทำงานของแคลอรีมิเตอร์ คือ การทำให้อนุภาคเกิดอันตรกิริยากับอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบของแคลอรีมิเตอร์ และสูญเสียพลังงานทั้งหมดภายในแคลอรีมิเตอร์

เมื่อนักฟิสิกส์นำข้อมูลที่ได้จากองค์ประกอบต่างๆ ของเครื่องตรวจวัดอนุภาคมาพิจารณาร่วมกันกับข้อเสนอทางทฤษฎี นักฟิสิกส์จึงสามารถอนุมานได้ว่า อนุภาคนั้นเป็นอนุภาคอะไร การตรวจพบอนุภาคใหม่ ที่ยังไม่ได้รับการค้นพบมาก่อน (เช่น ฮิกส์โบซอน) จำเป็นต้องได้รับการยืนยันจากเครื่องตรวจวัดอนุภาคมากกว่า 1 เครื่อง ทั้งนี้เพราะนักฟิสิกส์คิดว่า ภายใต้เงื่อนไขของระดับพลังงานเดียวกัน การเกิดขึ้นของอนุภาคใหม่ต้องปรากฏ ณ เครื่องตรวจวัดอนุภาคมากกว่า 1 เครื่อง

---

[37] การตรวจหาฮิกส์โบซอนเป็นตัวอย่างที่แสดงถึงความสำคัญของทริกเกอร์ได้ดี มีการอุปมาว่า การค้นหาฮิกส์โบซอนก็เหมือนการค้นหาเมล็ดข้าวโพด 1 เมล็ด จากจำนวน 1 หมื่นล้านเมล็ด (Servant, 2011: 23) หากไม่มีทริกเกอร์ช่วยคัดกรองเหตุการณ์ที่น่าจะบ่งบอกถึงการเกิดขึ้นของอิกส์โบซอนแล้ว นักฟิสิกส์แทบไม่มีโอกาสพบฮิกส์โบซอนเลย

ระบบคอมพิวเตอร์สำหรับการจัดการข้อมูล

การชนกันของโปรตอนเพียงช่วงเวลาสั้นๆ ทำให้เกิดข้อมูลจำนวนมหาศาล และนักฟิสิกส์จำเป็นต้องวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมหาศาลเหล่านี้อย่างละเอียด มีการประมาณว่า ข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่เซิร์น เมื่อได้รับการบันทึกลงแผ่นซีดี (CD) จะมีจำนวน 20 ล้านแผ่นในแต่ละปี (Segal, 2011a#5) ด้วยเหตุนี้ การมีระบบคอมพิวเตอร์สำหรับการจัดการและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก ในปัจจุบัน เซิร์นใช้ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ที่มีชื่อว่า “กริด” (Grid) เพื่อให้นักฟิสิกส์จากที่ต่างๆ ทั่วโลกช่วยกันวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมหาศาลที่จากการทดลอง โปรแกรมที่ใช้ในกริดมีชื่อว่า มิดเดิลแวร์ (Middleware) ซึ่งทำหน้าที่ค้นหาข้อมูลที่นักฟิสิกส์ต้องการ และจัดสรรทรัพยากรของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่นักฟิสิกส์ใช้เชื่อมต่อกับกริด ในการวิเคราะห์ข้อมูลนั้น กริดแตกต่างจากเวิลด์ไวด์เว็บ (World Wide Web) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีจุดกำเนิดที่เซิร์น และได้รับการใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน (Segal, 2011b) ในแง่ที่ว่า กริดมีวัตถุประสงค์เพื่อการใช้ทรัพยากรของเครื่องคอมพิวเตอร์ของนักฟิสิกส์จากที่ต่างๆ แต่เวิลด์ไวด์เว็บมีวัตถุประสงค์เพื่อการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันระหว่างนักฟิสิกส์

การนำความรู้ฟิสิกส์อนุภาคไปใช้ในทางการแพทย์

“เราสามารถเอาความรู้ฟิสิกส์อนุภาคไปใช้ประโยชน์อะไรได้บ้าง” คงเป็นคำถามที่ใครหลายคนกำลังสงสัย เนื่องจากความรู้ฟิสิกส์อนุภาคเป็นเรื่องใหม่กว่าความรู้ฟิสิกส์ดั้งเดิม เช่น กลศาสตร์ อุณหพลศาสตร์ และ แม่เหล็กไฟฟ้า การหาตัวอย่างที่เป็นรูปธรรมซึ่งแสดงถึงการนำความรู้ฟิสิกส์อนุภาคไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันจึงไม่ใช่เรื่องง่าย หากไม่นับการนำความรู้ฟิสิกส์อนุภาคไปใช้เป็นเนื้อหาในนวนิยายเรื่อง “เทวากับซาตาน” (Angels & Demons) เพื่อความบันเทิงแล้ว กิจกรรมทางการแพทย์น่าจะเป็นตัวอย่างที่เป็นรูปธรรมที่สุด หากย้อนกลับไปในอดีต การค้นพบรังสีเอ็กซ์ และการค้นพบกัมมันตภาพรังสี ได้นำไปสู่วิธีการวินิจฉัยและรักษาโรคแบบใหม่ นั่นคือ การตรวจดูอวัยวะภายในร่างกาย และ การใช้กัมมันตภาพรังสีเพื่อกำจัดเซลล์มะเร็ง ตามลำดับ ในปัจจุบัน ความรู้ฟิสิกส์อนุภาคเป็นพื้นฐานของวิธีการทางการแพทย์หลายอย่าง[38] เช่น การสร้างภาพด้วยเรโซแนนซ์แม่เหล็ก (Magnetic Resonance Imaging: MRI) โพซิตรอนอีมิสชันโทโมกราฟี (Positron Emission Tomography: PET) และ โพซิตรอนอีมิสชันแมมโมกราฟี (Positron Emission Mammography) (Dosanjh, 2011) ดังนั้น หากในอนาคตความรู้ฟิสิกส์อนุภาคจะมีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น ก็คงไม่ใช่เรื่องแปลกแต่อย่างใด

[38] ผู้เขียนต้องขออภัยที่ไม่สามารถให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับวิธีการทางการแพทย์เหล่านี้ได้ เพราะผู้เขียนไม่มีพื้นฐานเรื่องเหล่านี้มาก่อน

บทที่ 4: แนวทางการจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์

“โครงการอบรมครูฟิสิกส์ภาคฤดูร้อนเซิร์น” ประจำปี พ.ศ. 2554 ไม่เพียงแต่มีการบรรยายที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาคและงานวิจัยที่เซิร์นกำลังทำอยู่เท่านั้น แต่มีกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์อีกด้วย ในการนี้ ครูที่เข้าร่วมโครงการฯ มีโอกาสเลือกเข้ากลุ่มตามความสนใจของตนเอง ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 4 กลุ่ม คือ กิจกรรมพัฒนาการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (Enquiry-based learning) กิจกรรมทดลองปฏิบัติการ (Laboratory activities) กิจกรรมพัฒนาแหล่งเรียนรู้ (Educational resources) และกิจกรรมเฉพาะเจาะจง (Specific activities)[39] กิจกรรมเหล่านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ครูร่วมกันสร้างสรรค์ผลงานเพื่อนำไปใช้ในการจัดการเรียนสอนฟิสิกส์ ผู้เขียนเลือกเข้าร่วมกิจกรรมพัฒนาการเรียนรู้แบบสืบเสาะ เพราะผู้เขียนพิจารณาว่า กิจกรรมดังกล่าวสอดคล้องกับแนวทางการจัดการเรียนการสอนที่สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ผลักดันมาโดยตลอดหลายปีที่ผ่านมา (ประมวล, ไม่ระบุปี) เนื้อหาในบทนี้เกี่ยวข้องกับแนวทางการจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์ ที่ผู้เขียนได้รับในระหว่างการเข้าร่วมโครงการฯ

กิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะ

การเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบสืบเสาะเป็นการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นจากการที่ผู้เรียนตั้งคำถามเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่ตนเองสงสัย แล้วพยายามหาคำตอบของคำถามนั้นด้วยตนเอง ทั้งจากการศึกษาค้นคว้าเอกสาร การสำรวจและ/หรือการทดลองเพื่อเก็บข้อมูล การวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลที่ได้ อันนำไปสู่คำตอบที่น่าเชื่อถือ ตลอดจนการเผยแพร่ผลที่ได้จากกระบวนการหาคำตอบนั้นแก่ผู้อื่นที่สนใจ (บัญญัติ, 2550; พจนา, ไม่ระบุปี) เนื่องจากระดับความรับผิดชอบในการเรียนรู้ของผู้เรียนอาจแตกต่างกัน การจัดการเรียนการสอนโดยใช้การสืบเสาะจึงมีได้หลายรูปแบบ เช่น การสืบเสาะตามแนวทางที่ผู้สอนกำหนดไว้ให้ (Structured enquiry) การสืบเสาะโดยมีข้อแนะนำจากผู้สอน (Guided enquiry) และ การสืบเสาะอย่างอิสระ (Independent enquiry) (ประมวล, ไม่ระบุปี) ในการจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น ผู้สอนจำเป็นต้องให้ความช่วยเหลือในระดับที่เหมาะสมแก่ผู้เรียนรายบุคคล

ผู้เขียนและเพื่อนครูอีก 5 คน จากประเทศสหรัฐอเมริกา (Deborah Lilly) ประเทศบัลเกเรีย (Aneta Marinova) ประเทศสโลวาเกีย (Tatania Pohorelska) ประเทศกานา (Paulina Adubea Anim) และประเทศญี่ปุ่น (Nobuyuki Hirakata) ร่วมกันพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะ

---

[39] กิจกรรมเฉพาะเจาะจงเป็นกิจกรรมสำหรับครูที่มีความคิดชัดเจนว่าตนเองต้องการทำอะไร ซึ่งไม่สอดคล้องกับกิจกรรมทั้ง 3 กิจกรรมที่เซิร์นกำหนดไว้

(ดูภาคผนวก) ซึ่งเป็นการสืบเสาะตามแนวทางที่ผู้สอนกำหนดไว้ให้ วัตถุประสงค์ของกิจกรรม คือ เพื่อให้ผู้เรียนใช้ความรู้ฟิสิกส์ (เช่น การอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า การอนุรักษ์โมเมนตัม และการอนุรักษ์พลังงาน) ในการวิเคราะห์ภาพที่ได้จากบับเบิลแชมเบอร์[40] (Bubble chamber) ในตอนแรกของการทำกิจกรรม ผู้เรียนจะได้อ่านใบความรู้ ซึ่งให้ข้อมูลเกี่ยวกับการศึกษาทางฟิสิกส์อนุภาค และหลักการทำงานของบับเบิลแชมเบอร์ ก่อนที่ผู้สอนจะนำเสนอภาพถ่ายที่ได้จากบับเบิลแชมเบอร์ ร่วมกับข้อมูลพื้นฐานของอนุภาคต่างๆ เพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนหาคำตอบว่า แนวฟองที่เกิดขึ้นบนภาพแต่ละแนวเป็นแนวฟองที่เกิดขึ้นจากอนุภาคอะไร ตลอดจนวิเคราะห์เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นกับอนุภาคนั้นๆ

กิจกรรมการปฏิบัติการ

การสร้างคลาวด์แชมเบอร์[41] (Cloud chamber) เป็นกิจกรรมการปฏิบัติการ ที่เปิดโอกาสให้ครูที่เข้าร่วมโครงการฯ ได้สร้างเครื่องตรวจวัดอนุภาคอย่างง่ายด้วยตนเอง วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการสร้างคลาวด์แชมเบอร์ มีดังต่อไปนี้

วัสดุ

1. แอลกอฮอล์
2. น้ำแข็งแห้ง

อุปกรณ์

1. กล่องพลาสติกใส ขนาด 30x50x30 เซนติเมตร ซึ่งมีรูเล็กๆ ประมาณ 4-6 รู บริเวณด้านล่าง จำนวน 1 กล่อง
2. ฟองน้ำที่มีขนาดเท่ากับพื้นที่หน้าตัดของกล่องพลาสติก จำนวน 1-2 แผ่น

---

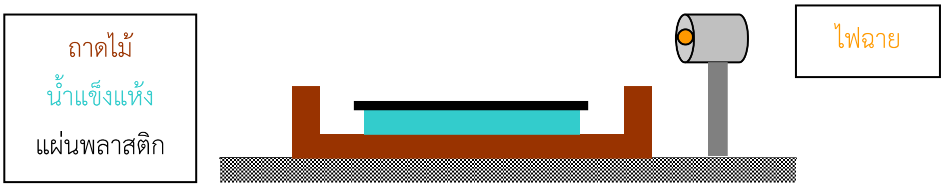
[40] บับเบิลแชมเบอร์ (Bubble chamber) เป็นเครื่องตรวจวัดอนุภาคในอดีต เครื่องตรวจวัดอนุภาคนี้ประกอบด้วยของเหลวที่อยู่ในสภาวะร้อนยิ่งยวด (Superheated) กล่าวคือ ของเหลวนั้นได้รับความร้อนจนถึงจุด “เกือบเดือด” และพร้อมจะเดือดทันทีที่ได้รับพลังงานเพิ่มเพียงเล็กน้อย เมื่อมีอนุภาคเคลื่อนที่ผ่านของเหลว พลังงานของอนุภาคจะถูกถ่ายโอนให้แก่โมเลกุลของของเหลว ทำให้ของเหลวเดือดและเกิดเป็นแนวฟองที่สามารถสังเกตเห็นได้ ภายใต้สนามแม่เหล็กที่นักฟิสิกส์สร้างขึ้น นักฟิสิกส์สามารถศึกษาสมบัติของอนุภาคโดยสังเกตจากแนวฟองที่เกิดขึ้น เนื่องจากแนวฟองจะเกิดขึ้นและหายไปอย่างรวดเร็ว การถ่ายภาพจึงช่วยให้นักฟิสิกส์สามารถวิเคราะห์สมบัติของอนุภาคได้ในภายหลัง (ผู้ที่สนใจศึกษาเพิ่มเติมได้ที่ (Jones, 2005))

[41] คลาวด์แชมเบอร์ (Cloud chamber) เป็นเครื่องตรวจวัดอนุภาคในอดีตเช่นเดียวกับบับเบิลแชมเบอร์ หากแต่คลาวด์แชมเบอร์เกิดขึ้นและมีมาก่อนบับเบอร์แชมเบอร์ หลักการทำงานของคลาวด์แชมเบอร์ คือ การทำให้แอลกอฮอล์อยู่ในสภาวะอิ่มตัวยิ่งยวด (Supersaturated) และพร้อมจะแตกตัวเป็นไอออน (Ion) เมื่อได้รับพลังงานเพิ่มเพียงเล็กน้อย เมื่อมีอนุภาคเคลื่อนที่ผ่านแอลกอฮอล์ พลังงานของอนุภาคจะถูกถ่ายโอนให้แก่โมเลกุลของแอลกอฮอล์ ทำให้โมเลกุลของแอลกอออล์แตกตัวเป็นไอออน และเกิดเป็นแนวของการแตกตัวเป็นไอออนขึ้น การสังเกตแนวดังกล่าวสามารถทำได้โดยการส่องไฟฉายไปยังคลาวด์แชมเบอร์ที่อยู่ในห้องมืด แนวเส้นสีขาวที่สังเกตได้จึงบอกถึงการมีอนุภาคเคลื่อนที่เข้ามาในคลาวด์แชมเบอร์

3. ลวดเย็บ ยาว 10 เซนติเมตร ประมาณ 4-6 เส้น
4. ถาดรอง ที่มีขนาดใหญ่กว่ากล่องพลาสติกเล็กน้อย จำนวน 1 ถาด
5. แผ่นพลาสติกสีดำ ที่มีขนาดใหญ่กว่ากล่องพลาสติก และเล็กกว่าถาดรอง จำนวน 1 แผ่น
6. ไฟฉาย จำนวน 1 ดวง
7. ถุงมือ จำนวน 1 คู่

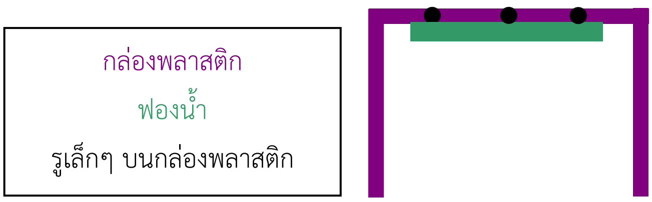
การสร้างคลาวด์แชมเบอร์เริ่มต้นด้วย

1. จัดวางถาดไม้ น้ำแข็งแห้ง และแผ่นพลาสติก ให้เป็นไปตามภาพที่ 34



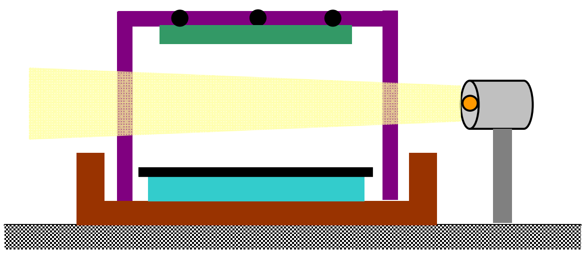
ภาพที่ 34 แสดงการจัดวางถาดไม้ น้ำแข็งแห้ง ไฟฉาย และแผ่นพลาสติก เพื่อทำคลาวด์แชมเบอร์

2. ผูกฟองน้ำและกล่องพลาสติกด้วยลวด ดังภาพที่ 35



ภาพที่ 35 แสดงการจัดวางกล่องพลาสติก และ ฟองน้ำ เพื่อทำคลาวด์แชมเบอร์

3. รินแอลกอฮอล์ลงไปบนฟองน้ำ จนกระทั่งฟองน้ำชุ่ม
4. นำกล่องพลาสติก ซึ่งประกอบด้วยฟองน้ำที่ชุ่มไปด้วยแอลกอฮอล์ไปครอบถาดไม้ ดังภาพที่ 36



ภาพที่ 36 แสดงการจัดวางกล่องพลาสติก ฟองน้ำ ถาดไม้ น้ำแข็งแห้ง ไฟฉาย และแผ่นพลาติก เพื่อสังเกตอนุภาค ในคลาวด์แชมเบอร์

แอลกอฮอล์ในฟองน้ำจะเกิดการระเหยเป็นไอเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนกับอากาศภายในห้อง อย่างไรก็ตาม ไอของแอลกอฮอล์จะเกิดการควบแน่นเป็นหยดของเหลวอีกครั้งเมื่อพบกับอุณหภูมิต่ำของน้ำแข็งแห้ง ดังนั้น ภายในกล่องพลาสติกบริเวณเหนือน้ำแข็งแห้งจะเต็มไปด้วยหยดแอลกอฮอล์ เมื่อมีอนุภาคผ่านเข้ามาชนกับโมเลกุลของหยดแอลกอฮอล์ พลังงานของอนุภาคจะถูกถ่ายโอนให้แก่โมเลกุลของหยดแอลกอฮอล์ ทำให้โมเลกุลเหล่านั้นเกิดการแตกตัวเป็นไอออน

5. ปิดไฟเพื่อให้บริเวณรอบๆ มืดสนิท แล้วจึงเปิดไฟฉายเพื่อส่องแสงไปยังภายในกล่องพลาสติก
6. สังเกตแนวเส้นสีขาวที่เกิดจากการแตกตัวเป็นไอออนของโมเลกุลของหยดแอลกอฮอล์

เนื่องจากวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้สร้างคลาวด์แชมเบอร์สามารถหาได้ไม่ยากเย็นนักในพื้นที่ทั่วไป การให้นักเรียนสร้างคลาวด์แชมเบอร์และสังเกตผลที่เกิดขึ้นน่าจะช่วยให้นักเรียนเกิดความยากรู้อยากเห็นเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติมากยิ่งขึ้น

การระดมสมองเพื่อคัดเลือกหนังสือฟิสิกส์

การระดมสมองเพื่อคัดเลือกหนังสือฟิสิกส์ โดยเฉพาะหนังสือเกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาคและหนังสือเกี่ยวกับจักรวาลวิทยา เป็นอีกกิจกรรมหนึ่งของ “โครงการอบรมครูฟิสิกส์ภาคฤดูร้อนเซิร์น” ประจำปี พ.ศ. 2554 ในการนี้ ครูที่เข้าร่วมโครงการฯ ร่วมกันเสนอชื่อหนังสือที่เป็นประโยชน์ทั้งกับเพื่อนครูด้วยกันเองและกับนักเรียนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย เนื่องจากมีครูจากหลากหลายประเทศ หนังสือที่ได้รับการเสนอชื่อจึงมีหลากหลายภาษา รายการข้างล่างเป็นหนังสือที่ครูที่เข้าร่วมโครงการฯ ลงมติกันว่าเป็นประโยชน์ โดยผู้เขียนเลือกมาเฉพาะหนังสือที่เป็นภาษาอังกฤษเท่านั้น

- Arons, A. B. (1996). **Teaching Introductory Physics**. (1st Edition). John Wiley & Sons. ISBN: 0471137073.
- Auger, P. (1945). **What Are Cosmic Rays?** Chicago: University of Chicago Press.
- Close, F. (2004). **Particle Physics: A Very Short Introduction**. Oxford University Press. ISBN: 0192804340.
- Feynman, R. P. (1970). **The Feynman Lectures on Physics**. Addison Wesley: ISBN: 0201021153.
- Feynman, R. P. (2005). **Six Easy Pieces**. Basics Books. ISBN: 0465023924.

- Filkin, D. (1997). **Stephen Hawking's Universe**. BBC Books. ISBN: 0563383011.
- Giancoli, D. C. (2005). **Physics: Principles with Applications**. (6th Edition). Addison Wesley. ISBN: 0130606200.
- Haber-Schaim, U., Dodge, J. H., Gardner, R., Shore, E. A., and Walter, F. (1991). **PSSC Physics**. (7th Edition). Kendal Hunt Publishing Company. ISBN: 0840360258.
- Hawking, S. W. (2001). **The Universe in a Nutshell**. (1st Edition). Bantam. ISBN: 055380202X.
- Hewitt, P. G. (1997). **Conceptual Physics: The High School Physics Program**. (3rd Edition). Longman Publishing Group. ISBN: 020146697X.
- Hewitt, P. G. (2009). **Conceptual Physics**. (11th Edition). Addison Wesley. ISBN: 0321568095.
- Kirk, T. and Hodgson, N. (2010). **IB Diploma Course Companion: Physics**. Oxford University Press. ISBN: 0199139545.
- Knight, R. D. (2002). **Five Easy Lessons: Strategies for Successful Physics Teaching**. (1st Edition). Addison Wesley. ISBN: 0805387021.
- Knight, R. D., Jones, B., and Field, S. (2006). **College Physics: A Strategic Approach**. Addison Wesley. ISBN: 080530634X.
- Landau, L. D. and Kitaigorodsky, A. I. (1990). **Physics for Everyone**. (2nd Edition). Moscow: MIR Publishers.
- Lederman, L. M. and Schramm, D. N. (1995). **From Quarks to the Cosmos: Tools of Discovery**. W.H. Freeman & Company. ISBN: 0716760126.
- Morrison, P., Morrison, P., Office of Charles, and Eames, R. (1994). **Power of Ten**. (Revised Edition). W.H. Freeman & Company. ISBN: 0716760088.
- Rossi, B. (1964). **Cosmic Rays**. George Allen & Unwin. ASIN: B0006BM358.
- Pasachoff, J. M. (2009). **Science Explorer: Astronomy**. Prentice Hall School Division. ISBN: 013365110X.
- Ryden, B. (2002). **Introduction to Cosmology**. (1st Edition). Benjamin Cummings. ISBN: 0805389121.

- Seeds, M. A. and Backman, D. (2007). **Perspectives on Astronomy**. (1st Edition). Brooks Cole. ISBN: 0495392731.
- Swartz, C. E. and Miner, T. (1998). **Teaching Introductory Physics: A Sourcebook**. American Institute of Physics. ISBN: 1563963205.
- Unterman, N. A. (2001). **Amusement Park Physics: A Teachers' Guide**. (2nd Edition). Walch Publishing. ISBN: 0825142644.
- Weinberg, S. (1993). **The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe**. Basics Books. ISBN: 0465024378.

ห้องเรียนมาสเตอร์ (Master classroom)

เซิร์นได้ดำเนินกิจกรรมที่มีชื่อว่า "ห้องเรียนมาสเตอร์" (Wahrmund, 2011) มาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1997 กิจกรรมนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (อายุ 15-19 ปี) มีความสนใจในฟิสิกส์อนุภาค และมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาค ในการนี้ นักเรียนที่เข้าร่วมกิจกรรม "ห้องเรียนมาสเตอร์" ซึ่งมาจากประเทศต่างๆ ในทวีปยุโรป จะได้รับประสบการณ์ในการทำวิจัยทางด้านฟิสิกส์อนุภาคกับนักฟิสิกส์อนุภาคโดยตรง นั่นคือ การได้ฝึกวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาจากทดลองทางฟิสิกส์อนุภาคจริงๆ (Jende, 2011) การดำเนินกิจกรรม "ห้องเรียนมาสเตอร์" ใช้เวลาประมาณ 1 วัน กิจกรรมในช่วงเช้า (09.00 น. – 12.00 น.) เป็นการบรรยายซึ่งให้ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาค จากนั้นในช่วงบ่าย (13.30 น. – 15.30 น.) นักเรียนจะได้ฝึกวิเคราะห์ข้อมูลจริงๆ ก่อนที่จะนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ ตลอดจนสิ่งที่ได้เรียนรู้ มาแลกเปลี่ยนกันในช่วงเย็น (15.30 น. – 16.30 น.)

แม้ว่ากิจกรรม "ห้องเรียนมาสเตอร์" ไม่ได้มีไว้สำหรับครูที่เข้าร่วม "โครงการอบรมครูฟิสิกส์ภาคฤดูร้อนเซิร์น" โดยตรง การประชาสัมพันธ์กิจกรรมดังกล่าวก็ถือว่ามีประโยชน์แก่ครูที่เข้าร่วมโครงการฯ อย่างมาก โดยเฉพาะครูจากประเทศสมาชิกของเซิร์น ทั้งนี้เพราะครูที่สนใจสามารถประชาสัมพันธ์กิจกรรม "ห้องเรียนมาสเตอร์" แก่นักเรียนที่สนใจ และติดต่อเพื่อให้นักเรียนของตนเองเข้าร่วมกิจกรรมดังกล่าวได้ในอนาคต ในกรณีของนักเรียนไทยนั้น แม้ว่าการเดินทางไปเข้าร่วมกิจกรรม "ห้องเรียนมาสเตอร์" เพียง 1 วัน อาจจะดูเป็นเรื่องที่เป็นไปได้ยาก การประชาสัมพันธ์ให้นักเรียนเข้าไปเยี่ยมชมเว็บไซต์ "ห้องเรียนมาสเตอร์" (Wahrmund, 2011) เพื่อเรียนรู้เกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาคและงานวิจัยของเซิร์น ก็เป็นสิ่งที่สามารถทำได้โดยง่าย นอกจากนี้ การจัดกิจกรรมในรูปแบบที่คล้ายคลึงกับกิจกรรม "ห้องเรียนมาสเตอร์" ภายในประเทศ โดยหน่วยงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ (เช่น สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน)) ก็เป็นสิ่งที่น่าสนใจและเป็นไปได้

วิธีการสอนโดยการอุปมาอุปมัย

เป็นที่น่าสังเกตว่า วิธีการที่ผู้บรรยายหลายคนมักใช้ในการสื่อสารแนวคิดที่เป็นนามธรรมแก่ครูที่เข้าร่วม “โครงการอบรมครูฟิสิกส์ภาคฤดูร้อนเซิร์น” ในครั้งนี้ คือ การอุปมาอุปมัย (Analogies) กล่าวคือ ผู้บรรยายมักเปรียบเทียบปรากฏการณ์ต่างๆ ในระดับฟิสิกส์อนุภาค ซึ่งยากต่อการจินตนาการ กับปรากฏการณ์ที่ครูผู้เข้าร่วมโครงการฯ คุ้นเคยมากกว่า อาทิ การเปรียบเทียบอนุภาคมูลฐานกับตัวต่อเลโก้ การเปรียบเทียบการแลกเปลี่ยนอนุภาคนำแรงระหว่าง 2 อนุภาคใดๆ กับการโยนลูกบอลไปมาระหว่างคน 2 คน ที่อยู่ในเรือคนละลำ (หรือการแย่งกระดูกกันของสุนัข 2 ตัว) และการเปรียบเทียบความเป็นไปได้ในการพบฮิกส์โบซอนกับการค้นหาเมล็ดข้าวโพด 1 เมล็ดจากจำนวน 1 หมื่นล้านเมล็ด เป็นต้น (อ่านหน้าที่ 38-39 และหน้าที่ 55) วิธีการอุปมาอุปมัยเหล่านี้ช่วยให้ผู้เขียนเข้าใจและติดตามการบรรยายได้ง่ายขึ้นและสนุกขึ้น วิธีการดังกล่าวจึงอาจเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายเช่นเดียวกัน

จากข้อสังเกตข้างต้น ผู้เขียนค้นคว้างานวิจัยทางการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการใช้อุปมาอุปมัยในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ (Duit, 1991; Treagust *et al.*, 1998) ในการนี้ ผู้เขียนพบว่า การอุปมาอุปมัยเป็นวิธีการที่มีประโยชน์สำหรับการสอนวิทยาศาสตร์ และสามารถช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่เป็นนามธรรมได้สะดวกขึ้น กล่าวคือ การอุปมาอุปมัยเป็นเสมือน “สื่อกลาง” (Mediator) ที่ช่วยเชื่อมโยงความรู้เดิมของผู้เรียนกับแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่เป็นนามธรรม (Glynn and Takahashi, 1998) อย่างไรก็ตาม การใช้การอุปมาอุปมัยในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์มีข้อพึงระวังเช่นกัน กล่าวคือ การอุปมาอุปมัยที่ไม่เหมาะสมไม่เพียงแต่ไม่สามารถช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์ได้แล้ว แต่อาจนำไปสู่ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนได้เช่นกัน ดังนั้น ในระหว่างการใช้การอุปมาอุปมัย การเน้นย้ำให้ผู้เรียนได้เห็นถึงความเหมือนและความต่างระหว่างสิ่งหรือปรากฏการณ์ที่ถูกเปรียบเทียบ กับสิ่งหรือปรากฏการณ์ที่ใช้เปรียบเทียบเป็นเรื่องจำเป็นอย่างยิ่ง (Harrison and Treagust, 1993)

สื่อการเรียนรู้ดิจิตัล

นอกเหนือจากโครงการอบรมต่างๆ ให้แก่นักเรียน นิสิต และครู เซิร์นยังได้พัฒนาสื่อการเรียนรู้ดิจิตัลมากมาย ซึ่งเป็นอีกช่องทางหนึ่งในการเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาคและงานวิจัยของเซิร์นแก่สาธารณชน สื่อการเรียนรู้ดิจิตัลที่เซิร์นพัฒนาขึ้นมีทั้งหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ (Deferne, 2010) เกมส์ (CERN, 2007a; CERN, 2007b) และวีดีทัศน์ (CERN, 2011b) และชุดการสอน (Baine, 2007) ผู้ที่สนใจสามารถเข้าถึงสื่อการเรียนรู้ดิจิตัลทั้งหมดนี้ได้ที่เว็บไซต์ทางการศึกษาของเซิร์น (http://education.web.cern.ch/education/Chapter2/Intro.html) โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย

สื่อส่วนหนึ่งของการเรียนรู้เหล่านี้ได้รับการพัฒนาและต่อยอดมาจากผลงานของครูที่เข้าร่วม "โครงการอบรมครูฟิสิกส์ภาคฤดูร้อนเซิร์น" ในอดีต นอกจากนี้ ในระหว่างการอบรม ยังมีสื่อการเรียนรู้ดิจิตัลอื่นๆ ที่ครูได้ร่วมกันแลกเปลี่ยนซึ่งกันและกัน เช่น เว็บไซต์บับเบิ้ลแชมเบอร์ (Jones, 2005) และ โปรแกรมจำลองบับเบิ้ลแชมเบอร์[42] (Gagnon, 2011)

การสอนลักษณะพื้นฐานของธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (Nature of Science) เป็นหนึ่งในสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่อยู่ใน "หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551" (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551) ซึ่งคาดหวังให้นักเรียน:

> "...รู้ว่าปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีรูปแบบที่แน่นอน สามารถอธิบายและตรวจสอบได้ภายใต้ข้อมูลและเครื่องมือที่มีอยู่ในช่วงเวลานั้นๆ (และ) เข้าใจว่าวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สังคม และสิ่งแวดล้อมมีความสัมพันธ์กัน" (หน้า 128)

การทำงานของนักวิทยาศาสตร์ที่เซิร์นสะท้อนให้เห็นถึงลักษณะพื้นฐานของธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ดังกล่าวได้เป็นอย่างดี กล่าวคือ นักวิทยาศาสตร์ที่เซิร์นเชื่ออย่างหนักแน่นเกี่ยวกับการมีอยู่ของกฎเกณฑ์ที่ควบคุมปรากฏการณ์ในระดับอนุภาค ซึ่งเป็นกฎเกณฑ์เดียวกันกับกฎเกณฑ์ที่ควบคุมปรากฏการณ์ในระดับจักรวาล (Giudice, 2010) และนักวิทยาศาสตร์ที่เซิร์นพยายามศึกษาเพื่อที่จะเข้าใจกฎเกณฑ์นั้น

การทำงานของนักวิทยาศาสตร์ที่เซิร์นยังสะท้อนให้เห็นถึงความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันของวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สังคม และสิ่งแวดล้อม กล่าวคือ ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์จำเป็นต้องอาศัยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ในทางกลับกัน ความรู้ใหม่ทางวิทยาศาสตร์ก็นำไปสู่การพัฒนานวัตกรรมหรือเทคโนโลยีใหม่เช่นเดียวกัน และการเกิดขึ้นของเทคโนโลยีใหม่ก็จะส่งผลต่อรูปแบบการดำเนินชีวิตของผู้คนในอนาคตต่อไป นอกจากนี้ ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีต้องตั้งอยู่บนพื้นฐานความเข้าใจที่ดีของผู้คนในสังคม ดังจะเห็นได้จากความพยายามของเซิร์นในการสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องแก่สาธารณชนมาโดยตลอด ทั้งนี้เพราะเซิร์นตระหนักดีว่า การขาดไปซึ่งความเข้าใจที่ถูกต้องของผู้คนในสังคม อาจทำให้งานวิจัยต่างๆ ที่เซิร์นหยุดชะงักหรือไม่สามารถดำเนินการต่อไปได้

---

[42] ผู้ที่สนใจสามารถเข้าถึงโปรแกรมจำลองบับเบิ้ลแชมเบอร์ได้ที่ http://www2.ustboniface.ca/cusb/physique/nos_simulateurs-maison/telechargement/

บทที่ 5: บันทึกประจำวันของผู้เขียน

วันที่ 2 กรกฎาคม 2554

หลังจากเดินทางด้วยความอดทน ผมและปุ๊ก็มาถึงประเทศสวิตเซอร์แลนด์ โดยมีน้องอ๊อฟ น้องนุ๊กนิ๊ก และน้องข้น มารับที่สนามบิน โชคดีที่น้องอ๊อฟเอารถมาด้วย เราจึงมาถึงเซิร์นด้วยความสะดวก

หลังจากอาบน้ำ กินอาหารเที่ยง และพักผ่อนเล็กน้อย เราทั้ง 5 คนก็ตกลงกันว่า จะออกไปดูเมืองเจนีวากัน แม้ใจอยากจะพักผ่อนอีกหน่อย แต่การออกไปดูเมืองเจนีวาครั้งแรกก็ยากจะห้ามใจ เราออกจากเซิร์นโดยนั่งแทรม (Tram) สาย 18 (จากหน้าเซิร์น) ไปถึงห้างสรรพสินค้ามานอร์ (Manor) เราเดินดูของในห้างฯ นิดหน่อย ในระหว่างนี้ น้องเก่งก็เดินทางมาสมทบ จากนั้นเราเดินไปเรื่อยๆ จนถึง ทะเลสาบแห่งเจนีวา (Lake of Geneva) ที่นั่นมีคนมาพักผ่อนเยอะแยะเลย แถมยังมีขบวนพาเหรดเรียกร้องสิทธิของกลุ่มคนรักร่วมเพศด้วย คนในขบวนแต่งตัวกันแปลกตา พวกเขาแจกของเล็กๆ น้อยๆ เช่น เอกสาร นกหวีด และถุงยางอนามัย ผมรับมาด้วยความงงๆ

เราทั้ง 6 คน เดินเล่นและถ่ายรูปกันพักใหญ่ จนกระทั่งเย็น เราตกลงกันไปกินอาหารไทยที่ร้านอาหารแห่งหนึ่ง ซึ่งเจ้าของร้านก็ไปร่วมเดินขบวนเรียงร้องสิทธิคนรักร่วมเพศด้วย เราได้เจอคนไทยอีกหลายคนที่นั่น เราออกจากร้านประมาณ 4 ทุ่ม (แต่ยังสว่างอยู่เลย) เพื่อเดินไปขึ้นแทรม สาย 18 กลับเซิร์น

ผมเหนื่อยและง่วงมาก จนเผลอหลับไปโดยไม่ได้อาบน้ำ ผมจำไม่ได้ว่า ตัวเองตื่นมาอาบน้ำกี่โมงกี่ยาม ความสุขที่สุดเกิดขึ้นบนเตียงนี่เอง

วันที่ 3 กรกฎาคม 2554

วันนี้ผมตื่นมาประมาณ 9 โมงเช้า อาบน้ำ และออกไปหาอะไรกินที่โรงอาหาร ก่อนออกไปผมและปุ๊ไปสำรวจเครื่องอำนวยความสะดวกที่ให้บริการในที่พัก เช่น ที่กดน้ำดื่ม ที่ซักผ้ารีดผ้า แล้วกลับมาที่ห้อง ผมตั้งใจเขียนบันทึกของเมื่อวาน (2 กรกฎาคม 2554)

ผมลืมบอกไปว่า เมื่อวาน เราได้เจอกับ Mick Storr ด้วย เขาดูออกว่าเราเป็นคนไทย จึงเดินเข้ามาถาม เราได้คุยกันนิดหน่อย ก่อนที่ผมและปุ๊ออกไปเที่ยวเมืองเจนีวา หวังว่า วันนี้ตอนเย็น ซึ่งเป็นช่วง Welcome reception เราจะได้คุยกับ Mick มากขึ้น

วันที่ 4 กรกฎาคม 2554

วันนี้เป็นวันแรกของการอบรมครูฟิสิกส์ที่เซิร์นอย่างเป็นทางการ (หลังจากการพบปะกันอย่างไม่เป็นทางการเมื่อตอนเย็นของวันที่ 3 กรกฎาคม 2554) กิจกรรมมีดังต่อไปนี้

8.30-9.00 น. ลงทะเบียน
9.00-9.30 น. CERN Education
9.30-10.15 น. Audio-visual Introduction to CERN
10.30-12.30 น. Team Building
12.30-14.00 น. พักเที่ยง
14.00-15.00 น. Team Building (ต่อ)
15.30-17.00 น. Parallel Visit: Globe Universe of Particles Exhibition and Microcosm
17.00-17.45 น. Visits Evaluation

ช่วง CERN Education เป็นการบรรยายแนวทางการเผยแพร่ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ของเซิร์น โดย Mick Storr เป็นผู้บรรยาย ใจความสำคัญของการบรรยายคือว่า เซิร์นต้องการนำเสนองานวิจัยสมัยใหม่ให้แก่ครูและนักเรียนในโรงเรียน โดยเปิดโอกาสให้ครูได้เยี่ยมชมหน่วยงานในเซิร์นและพบปะกับนักวิทยาศาสตร์ที่ทำงานในเซิร์น เซิร์นหวังให้ครูที่ได้เข้าร่วมกิจกรรมที่เซิร์น จะนำความรู้ที่ได้ไปขยายผลกับนักเรียนที่ตนเองสอน โดยมีเป้าหมายสุดท้าย 2 ข้อ คือ

1. สร้างความสนใจของนักเรียนในวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ เพื่อนักเรียนเข้าใจปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ (หรือเป็นผู้รู้วิทยาศาสตร์) และอยากเรียนต่อในสาขาวิทยาศาสตร์ เพื่อเป็นนักวิทยาศาสตร์ในอนาคต (กิจกรรมทางวิทยาศาสตร์จะหยุดชะงัก หากไม่มีนักวิทยาศาสตร์รุ่นใหม่ มาต่อยอดสิ่งที่นักวิทยาศาสตร์รุ่นเก่าได้ทำเอาไว้)
2. ทำให้นักเรียนเข้าใจว่า กิจกรรมทางวิทยาศาสตร์ยังคงดำเนินอยู่และจะดำเนินต่อไปในอนาคต ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนกำลังเรียนอยู่ (โดยเฉพาะในระดับมัธยมศึกษา) ไม่ใช่สิ่งที่ตายหรือหยุดนิ่งไปแล้ว นักเรียนควรซาบซึ้งในความลึกลับของปรากฏการณ์ทางธรรมชาติและความพยายามของนักวิทยาศาสตร์ในการเข้าใจปรากฏการณ์ทางธรรมชาติเหล่านั้น

กิจกรรมทางการศึกษาที่เซิร์นดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน มีหลายรูปแบบคือ การบรรยายในเรื่องต่างๆ ที่เกี่ยวกับงานวิจัยที่เซิร์นทำอยู่ การเยี่ยมชมอุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัยต่างๆ

การลงมือทำการทดลองและกิจกรรมกลุ่ม และการพบปะพูดคุยกับนักวิทยาศาสตร์ที่ทำงานที่เซิร์น (ผู้ที่สนใจสามารถดาวน์โหลดงานนำเสนอได้ที่ http://indico.cern.ch/)

ช่วง Audio-visual Introduction to CERN เป็นการชมวีดีทัศน์ 2 เรื่อง คือ "The Story of CERN : A 50 Journey to the Heart of Matter" และ "The Large Hadron Collider in 10′" (ผู้ที่สนใจสามารถชมและดาวน์โหลดได้ฟรีครับ)

ช่วง Team Building เป็นการแนะนำตัวเองอย่างเป็นทางการ และการแบ่งกลุ่มออกเป็น 4 กลุ่ม เพื่อระดมสมองเกี่ยวกับความคาดหวังของครูในการเข้าร่วมกิจกรรมครั้งนี้

ช่วง Parallel Visit เป็นการเดินชม Globe หรือ Microcosm ซึ่งเป็นการแสดงเรื่องราวต่างๆ เกี่ยวกับเซิร์น (ผมและปุ๊ได้ไป Microcosm) เนื่องจากมีข้อมูลที่จัดแสดงจำนวนมาก ผมตั้งใจหาเวลาไปชม Microcosm อีกครั้ง

ช่วง Visits Evaluation เป็นการกรอกแบบประเมินสิ่งที่จัดแสดงใน Microcosm ครับ

วันที่ 5 กรกฎาคม 2554

วันนี้เป็นวันที่สองของการอบรมครูฟิสิกส์ที่เซิร์น โปรแกรมมีดังต่อไปนี้

8.30-12.30 น. เยี่ยมชม DELPHI/LHCb
14.00-15.30 น. Introduction to Particle Physics
15.30-17.00 น. Parallel Visit: Globe Universe of Particles Exhibition and Microcosm
17.00-17.45 น. Visits Evaluation
18.30-23.00 น. Pool and Pizza

ตลอดช่วงเช้าของวันเป็นการเยี่ยมชม DELPHI และ LHCb ซึ่งเป็นเครื่องตรวจวัดอนุภาค (Detectors) [ผมค่อยมาเล่ารายละเอียดทีหลังนะครับ ตอนนี้ดึกมากแล้ว]

ช่วงบ่ายเริ่มต้นด้วยการบรรยายโดย Rolf Landua ถึงที่มาที่ไปของการศึกษาเกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาค [ตอนแรกๆ ผมก็ยังรู้เรื่องอยู่ แต่ตอนหลังๆ ผมก็งงอยู่ แต่จะมาเล่ารายละเอียดอีกครั้ง] ผู้ที่สนใจดาวน์โหลดงานนำเสนอได้ที่ http://indico.cern.ch/ จากนั้นเป็นการไปเยี่ยมชม Globe

ซึ่งเป็นสถานที่จัดแสดงเรื่องราวเกี่ยวกับสิ่งที่เซิร์นกำลังศึกษา [เมื่อวานผมและปุ๊ไป Microcosm แล้ว เราจึงต้องไปชม Globe ในวันนี้] และเหมือนเมื่อวาน มีการกรอกแบบประเมินสิ่งที่จัดแสดงใน Globe ครับ

ตอนเย็น Mick Storr พาไปเลี้ยงพิซซ่า แต่ต้องเดินไปที่ร้าน ซึ่งอยู่ไกลมาก เรากลับถึงที่พักประมาณ 5 ทุ่ม โดยใช้เวลาส่วนใหญ่ไปกับการเดินไป-กลับจากที่พักไปร้านพิซซ่า [เหนื่อยแล้วครับ ผมขอนอนก่อน]

บันทึกพิเศษเรื่อง “LHCb Visit” (วันที่ 5 กรกฎาคม 2554)

เมื่อวาน (วันที่ 5 กรกฎาคม 2554) ผมได้มีโอกาสไปชมเครื่องตรวจวัดอนุภาคที่เรียกกันสั้นๆ ว่า LHCb ซึ่งเป็นเครื่องตรวจวัดอนุภาคหนึ่งของเครื่องเร่งอนุภาคฮาดรอนแบบปะทะขนาดใหญ่ (Large Hadron Collider: LHC)

LHCb ถูกออกแบบมาเพื่อสร้างและศึกษาเหตุการณ์ ที่เชื่อกันว่าเป็นจุดเริ่มต้นของจักรวาล การทดลองที่ LHCb มีพื้นฐานมาจากความรู้ทางทฤษฎีที่ว่า จักรวาลเกิดจากการระเบิดครั้งใหญ่ หรือที่เรียกกันว่า Big Bang ซึ่งพลังงานที่เกิดจากการระเบิดครั้งใหญ่นี้ก่อให้เกิดทั้งอนุภาคสสาร (matter) และอนุภาคปฏิสสาร (Anti-matter) ในปริมาณที่เท่ากัน ณ เวลานั้น

อย่างไรก็ตาม เมื่อเวลาผ่านไปหลังจากการเกิดการระเบิดครั้งใหญ่ จักรวาลกลับเหลือเพียงอนุภาคสสาร (เช่น โปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของธาตุต่างๆ) ขณะที่อนุภาคปฏิสสารหายไป (โดยไม่ทราบสาเหตุ)

การหายไปของอนุภาคปฏิสสารและการเหลืออยู่ของอนุภาคสสารในจักรวาล ไม่ได้เกิดจากการบรรลัย (Annihilation) หรือการชนกันระหว่างอนุภาคสสารและอนุภาคปฏิสสาร เพราะหากเป็นเช่นนั้น ปริมาณของอนุภาคสสารและปริมาณของอนุภาคปฏิสสารในจักรวาลจะต้องเหลือเท่ากัน (ทั้งนี้เพราะปริมาณของอนุภาคสสารและปริมาณของอนุภาคปฏิสสารที่หายหรือบรรลัยไปเท่ากัน)

นักวิทยาศาสตร์ที่เซิร์นจึงเร่งอนุภาคโปรตอนให้มีพลังงานสูง และทำให้อนุภาคโปรตอนเหล่านั้นชนกันที่ LHCb เพื่อศึกษาเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นหลังจากการชนกันของอนุภาคโปรตอน การทำให้อนุภาคโปรตอนที่มีพลังงานสูงมาชนกัน เป็นการสร้างเหตุการณ์ที่เหมือนหรือคล้ายกับการเกิด Big Bang ภายในห้องปฏิบัติการ การชนกันของอนุภาคโปรตอนดังกล่าวจะทำให้เกิดอนุภาคสสารและอนุภาคปฏิสสารที่มีช่วงชีวิตสั้นๆ (ไม่เสถียร) และนักวิทยาศาสตร์ที่เซิร์นต้องการศึกษาสมบัติของ

อนุภาคสสารและอนุภาคปฏิสสารที่มีอายุสั้นเหล่านั้น ก่อนที่พวกมันจะสลายไปเป็นอนุภาคสสาร (หรืออนุภาคปฏิสสาร) อื่นๆ ที่มีความเสถียรมากกว่า

ในปัจจุบัน นักวิทยาศาสตร์ที่ LHCb ศึกษาสมบัติของอนุภาคสสารที่เรียกว่า bottom quark (หรือเรียกสั้นๆ ว่า b quark) และสมบัติของอนุภาคปฏิสสารที่เรียกว่า anti-bottom quark (หรือเรียกสั้นๆ ว่า anti-b quark) และนั่นเป็นที่มาของตัว “b” ที่อยู่ด้านหลังชื่อย่อ LHCb ความแตกต่างในสมบัติของอนุภาค b quark และสมบัติของ anti-b quark (แม้เพียงเล็กน้อย) จะเป็นสิ่งที่จะช่วยให้ความกระจ่างของการกำเนิดจักรวาล และในขณะเดียวกัน ก็ช่วยอธิบายถึงสาเหตุของปริมาณที่ไม่เท่ากันของอนุภาคสสารและอนุภาคปฏิสสารในจักรวาล ณ ปัจจุบัน

ในระหว่างเยี่ยมชม LHCb ผมได้ถาม Goron ว่า ทำไมจึงเลือกศึกษา b quark และ anti-b quark ทั้งๆ ที่มีอนุภาคสสารและอนุภาคปฏิสสารอื่นๆ ให้ศึกษา (quark มี 6 ชนิด คือ up, down, charm, strange, top, และ bottom และ anti quark ก็มี 6 ชนิดเช่นกัน ดูเพิ่มเติม) คำตอบที่ได้คือ ได้มีการศึกษาสมบัติของ quark (และ anti quark คู่ของมัน) ที่มีมวลหรือพลังงานต่ำกว่า b quark (และ anti-b quark) มาก่อนหน้านี้แล้ว เซิร์นจึงต้องการศึกษาสมบัติ quark (และ anti quark) ที่มีมวลหรือพลังงานที่สูงขึ้น และก็เป็นคราวของ b quark และ anti-b quark นั่นเอง

หลังจากปล่อยไก่ไป 1 ตัว ผมคิดว่า ต่อไปก็คงถึงคราวของ top หรือ t quark และ anti-t quark ซึ่งมีมวลหรือพลังงานมากกว่า b quark และ anti-b quark

วันที่ 6 กรกฎาคม 2554

วันนี้เป็นการอบรมวันที่สาม โปรแกรมมีดังนี้

8.30-10.00 น. Introduction to Detectors
10.00-10.45 น. Introduction to CERN
11.00-12.00 น. Introduction to Particle Physics (continued)
14.00-17.00 น. Visit CMS

ช่วง Introduction to Detectors เป็นการบรรยายเกี่ยวกับการสร้างเครื่องตรวจวัดอนุภาค ซึ่งมีทั้งหลักการทางวิทยาศาสตร์พื้นฐานที่ใช้ในการตรวจวัดอนุภาค และความรู้ทางวิศวกรรมในการสร้างเครื่องตรวจวัดอนุภาค [ผมพอเข้าใจเนื้อหาที่เกี่ยวกับหลักการทางวิทยาศาสตร์พื้นฐานที่ใช้ใน

การตรวจวัดอนุภาค เพราะเคยอ่านหนังสือและฟังบรรยายของ ดร. บุรินทร์ อัศวพิภพ มาก่อนแล้ว แต่ผมตามเนื้อหาที่เกี่ยวกับวิศวกรรมไม่ค่อยทัน เดี๋ยวต้องหา PowerPoint มาดูอีกที]

ช่วง Introduction to CERN เป็นการบรรยายข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับเซิร์น เช่น พันธกิจของเซิร์น ประเทศสมาชิกของเซิร์น จำนวนบุคลากรของเซิร์น งบประมาณของเซิร์น งานวิจัยที่เซิร์นกำลังทำอยู่ ฯลฯ (ผู้ที่สนใจสามารถดาวน์โหลด PowerPoint ได้ที่ http://indico.cern.ch/)
ช่วง Introduction to Particle Physics เป็นการบรรยายต่อจากการบรรยายเมื่อวาน (และจะมีการบรรยายต่ออีก 2 ครั้ง) [เนื้อหาซับซ้อนมาก และผมก็ไม่ค่อยเข้าใจ เว้นแต่ว่าผู้บรรยายจะใช้การอุปมาอุปมัยมาช่วยให้เห็นภาพมากขึ้น] (ผู้ที่สนใจสามารถดาวน์โหลด PowerPoint ได้ที่ http://indico.cern.ch/)

ในช่วงบ่าย ผมได้ไปเยี่ยมชมเครื่องตรวจวัดอนุภาคอีกเครื่องหนึ่งของเซิร์น นั่นคือ CMS ซึ่งย่อมาจาก Compact Muon Solenoid วิทยากรบอกว่า ผมและเพื่อนครูฟิสิกส์โชคดีมาก ที่ช่วงนี้เป็นเวลา technical stop หรือช่วงพักทางเทคนิคเพื่อบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่างๆ ของ CMS ทำให้ผมได้เข้าไปดูเครื่องตรวจวัดอนุภาคในระยะที่ห่างไม่กี่เมตรจากตัว เครื่องเลยทีเดียว นอกจากนี้ พวกผมได้เข้าไปดูห้องควบคุมการทำงานของเครื่องตรวจวัดอนุภาคนี้ และเห็นนักวิทยาศาสตร์ (หรืออาจจะเป็นวิศวกร) กำลังอภิปรายกันอย่างจริงจังทีเดียว

Mick Storr เล่าว่า ตอนที่มีการสร้างเครื่องตรวจวัดอนุภาค CMS นี้ วิศวกรต้องขุดหลุมขนาดใหญ่และลึก เพื่อวางเครื่องตรวจวัดอนุภาคใต้ดิน อย่างไรก็ตาม น้ำใต้ดินในบริเวณนั้นเป็นอุปสรรคต่อการขุดหลุม วิศวกรจึงแก้ปัญหาโดยใช้ไนโตรเจนเหลวฉีดไปยังบริเวณที่พวกเขาต้องการขุด เพื่อให้น้ำและดินบริเวณนั้นแข็งตัว ก่อนที่จะขุดทั้งน้ำและดินที่แข็งตัวนั้นออกมา (น่าทึ่งในความคิดและความพยายามของพวกเขาจริงๆ) ว่าแล้ว Mick Storr ก็พาไปดูหลุมที่วิศวกรใช้ในการขนย้ายอุปกรณ์ต่างๆ (ซึ่งหนักเป็นตันๆ) ขึ้นและลงระหว่างบนดินและใต้ดิน (ขนาดหลุมประมาณห้องโถงใหญ่ๆ เห็นจะได้) ไว้คราวหลัง ผมจะเอารูปมาให้ชมกันนะครับ วันนี้ผมขอนอนก่อน เพราะ 5 ทุ่มครึ่งกว่าๆ แล้ว เดี๋ยวผมจะไม่มีแรงสำหรับพรุ่งนี้

วันที่ 7 กรกฎาคม 2554

วันนี้เป็นวันที่สี่ของการอบรม โปรแกรมมีดังนี้

9.00-12.00 น. Introduction to Teacher Lab OR Build(ing) a Cloud Chamber
14.00-15.30 น. Introduction to Detectors (Continued)

15.30-16.30 น. Introduction to Particle Physics (Continued)

16.30-17.30 น. Lecture Review and Discussion

ช่วงเช้ามีปัญหานิดหน่อยตรงที่ห้องปฏิบัติการของครูไม่พร้อม ทำให้การไปทำกิจกรรมที่ห้องนั้นไม่สามารถทำได้ Mick Storr จึงให้ไปฟัง Goron บรรยายแทน เนื้อหาการบรรยายมาจากบทความของ Goron เอง ซึ่งเสนอว่า ในช่วงเวลาสั้นๆ กฎการอนุรักษ์พลังงานอาจจะใช้ไม่ได้ในระดับฟิสิกส์อนุภาค

จากนั้น Mick Storr ให้สร้าง Cloud chamber ซึ่งคล้ายๆ กับที่ ดร. บุรินทร์ อัศวพิภพ ได้ลองให้ทำก่อนหน้าที่จะมาอบรมที่เซิร์นแล้ว ผมจึงไม่ค่อยรู้สึกตื่นเต้นเท่าไหร่ แต่การบรรยายของ Mick Storr เกี่ยวกับพัฒนาการการสร้างเครื่องตรวจวัดอนุภาคเป็นอะไรที่น่าสนใจทีเดียว [ผมถ่ายรูปสิ่งที่ Mick Storr เขียนบนกระดานดำขณะบรรยาย เดี๋ยวผมจะดูทบทวนอีกที]

ช่วงบ่ายเป็นการบรรยายเรื่องการทำงานของเครื่องตรวจวัดอนุภาค และฟิสิกส์อนุภาคตามลำดับ [อันนี้ผมไม่ค่อยรู้เรื่องครับ]

หลังการบรรยาย Mick Storr ให้เข้ากลุ่มเขียนคำถามเกี่ยวกับการบรรยายที่ผ่านมา ผมกล้าๆ กลัวๆ อยู่พักนึง ก่อนที่จะถามไปคำถามหนึ่ง คำถามของผมมาจากเนื้อหาการบรรยาย ที่วิทยากร (Rolf Landua) เคยบอกว่า อนุภาคฮิกส์ (Higgs particles) เป็นอนุภาคที่ทำให้อนุภาคอื่นๆ (ซึ่งไม่มีมวล ในตอนแรกที่เกิด Big Bang) มีมวลหลังจากที่มีอันตรกิริยา (Interactions) กับมัน มีการประมาณทางทฤษฎีด้วยว่า มวลของอนุภาคฮิกส์น่าจะอยู่ในช่วง 100-200 GeV ผมสงสัยว่า หลังจากที่มีอันตรกิริยากับอนุภาคอื่นๆ และทำให้อนุภาคอื่นๆ มีมวลแล้ว มวลของอนุภาคฮิกส์เองจะเปลี่ยนไปหรือไม่

บันทึกพิเศษเรื่อง “Metaphors for Teaching & Learning Particle Physics”

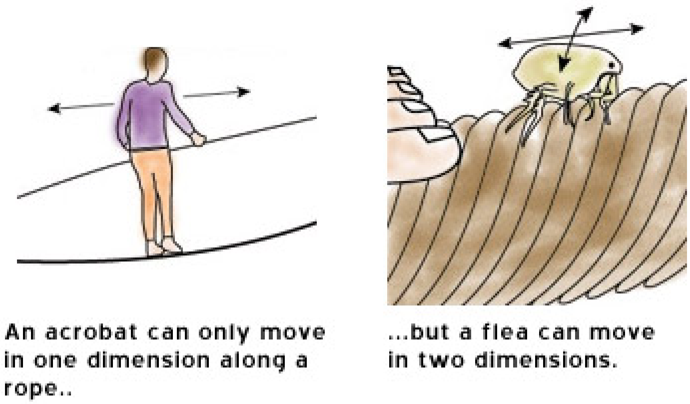
แนวคิดในระดับฟิสิกส์อนุภาคเป็นเรื่องยากที่จะเข้าใจสำหรับผู้เรียน ทั้งนี้เพราะแนวคิดเหล่านั้นอาจไม่สอดคล้องกับความรู้ทางฟิสิกส์ที่ผู้เรียนเคยเรียนมาก่อน เมื่อได้ยินคำศัพท์ เช่น อนุภาคนำแรง (Force carrier particles) หรือมิติพิเศษ (Extra dimensions) ที่นอกเหนือจาก space และ time หลายคนอาจไม่คุ้นเคยและงงอยู่ไม่น้อย ใครบางคน (เช่น ผมเอง) อาจจะคิดถามอยู่ในใจ “แรงเป็นปริมาณที่ต้องมีอนุภาคมานำพาด้วยเหรอ” หรือ “นอกจากมิติทั้ง 4 คือ แกน x แกน y แกน z และเวลาแล้ว จำเป็นต้องมีมิติอื่นๆ อีกเหรอ”

ไม่ใช่แค่ผู้เรียนเท่านั้นที่ประสบกับความยากลำบากในการเข้าใจแนวคิดในระดับฟิสิกส์อนุภาค ผู้สอนเองบางครั้งก็ประสบกับความยากลำบากในการสื่อให้ผู้เรียนเข้าใจแนวคิดเหล่านั้นเหมือนกัน จากการฟังนักวิทยาศาสตร์ที่เซิร์นบรรยายแนวคิดในระดับฟิสิกส์อนุภาคมา 2-3 วัน ผมสังเกตว่า การอุปมาเป็นวิธีการที่ช่วยให้ผมเข้าใจแนวคิดในระดับฟิสิกส์อนุภาคได้ดีขึ้น ตัวอย่างเช่น ...

ในฟิสิกส์อนุภาค การเกิดแรงระหว่าง 2 อนุภาคใดๆ (เช่น แรงระหว่าง quark 2 ตัว) จำเป็นต้องมีอนุภาคเป็นสื่อนำแรงระหว่าง 2 อนุภาคนั้น นักฟิสิกส์อนุภาคเรียกอนุภาคที่เป็นสื่อนำแรงนี้ว่าโบซอน (Bozon) ซึ่งมีอยู่ 4 ชนิดตามชนิดของแรงพื้นฐานทั้ง 4 เช่น กลูออน (gluon) เป็นอนุภาคนำแรงของแรงนิวเคลียร์อย่างเข้ม (Strong nuclear force) และโฟตอน (photon) เป็นอนุภาคนำแรงแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic force) เป็นต้น (ดูเพิ่มเติม)

Rolf Landua (2011#6) อุปมาว่า อนุภาคนำแรงนี้เปรียบเสมือนกระดูกที่สามารถทำให้สุนัข 2 ตัวมาอยู่ใกล้กันได้ การแย่งกระดูก (หรืออนุภาคนำแรง) ไปมาระหว่างสุนัข (หรืออนุภาค) 2 ตัวทำให้เกิดแรงระหว่างสุนัข (หรืออนุภาค) 2 ตัวนั้น แม้ว่าสุนัข (หรืออนุภาค) 2 ตัวนั้นจะไม่ถูกกัน (หรือ มีประจุไฟฟ้าเหมือนกัน) ก็ตามที แรงจะเกิดขึ้นตราบเท่าที่อนุภาค (หรือ สุนัข) 2 ตัวนี้มีการแย่ง (หรือแลกเปลี่ยน) กระดูก (หรือ อนุภาคนำแรง) ระหว่างกัน

อีกตัวอย่างหนึ่งคือ ...



ภาพที่ 37 แสดงการอุปมาการมีอยู่ของมิติพิเศษที่นอกเหนือไปจากการรับรู้ของมนุษย์
ที่มา: The Particle Data Group (2009b)

มีทฤษฎีทางฟิสิกส์ที่เสนอว่า มีมิติพิเศษอื่นๆ ที่นอกเหนือจากแกน x แกน y แกน z และเวลาในจักรวาล หากแต่มนุษย์ไม่สามารถรับรู้ถึงการมีอยู่ของมิติเหล่านั้นได้ ในทางตรงข้าม อนุภาคขนาดเล็กกลับสามารถรับรู้และเคลื่อนที่ในมิติเหล่านั้นได้

ที่ Globe มีคำอธิบายโดยใช้การอุปมาที่ว่า หากเรา (หมายถึง คนทั่วไป) พิจารณานักกายกรรมที่กำลังเดินอยู่บนเชือก เราจะเห็นเพียงแค่ว่า นักกายกรรมคนนี้สามารถเคลื่อนที่ได้เพียง 1 มิติเท่านั้น นั่นคือ การเดินไปข้างหน้าหรือถอยหลัง แต่ในระดับที่เล็กลงกว่านั้น เช่น แมลงตัวเล็กๆ ที่เกาะอยู่บนเชือกเส้นเดียวกัน อาจสามารถมองเห็นมิติเพิ่มขึ้นมาอีก 1 มิติ (รวมเป็น 2 มิติ) คือ การเดินไปข้างหน้าหรือถอยหลัง และ การเดินไปทางซ้ายหรือไปทางขวา ดังนั้นเป็นไปได้ว่า อนุภาคที่มีขนาดเล็กมากๆ อาจจะสามารถมองเห็นและเคลื่อนที่ในมิติพิเศษอื่นๆ ที่มนุษย์เราไม่สามารถรับรู้ได้

วันที่ 8 กรกฎาคม 2554

วันนี้เป็นวันที่ห้าของการอบรม โปรแกรมเปลี่ยนแปลงไปจากที่ได้มีการกำหนดไว้ ทั้งนี้เพราะกิจกรรมในห้องปฏิบัติการครูไม่สามารถดำเนินการได้เมื่อวานนี้ จึงต้องเลื่อนมาเป็นวันนี้แทน กิจกรรมมีดังนี้

9.30-10.30 น. Introduction to Particle Physics (continued)
10.30-11.30 น. Lecture Review & Discussion
11.30-12.30 น. Q/A
13.30-16.30 น. Teacher Lab, Calculating Mass, and Visiting B40

ช่วงเช้าเป็นการบรรยายเกี่ยวฟิสิกส์อนุภาค โดย Rolf Landua [ผมก็ยังไม่ค่อยรู้เรื่องอีกเช่นเคย]

จากนั้นเป็นการเข้ากลุ่มเพื่อคิดคำถามที่จะถาม Rolf Landua [แต่ส่วนใหญ่เป็นการคุยเรื่องทั่วไปมากกว่า]

จากนั้นก็เป็นช่วง Q/A หรือการถาม/ตอบ โดยครูส่งคำถามที่เตรียมไว้ให้ Mick Storr เลือกถาม และให้ Rolf Landua เป็นคนตอบ แม้ว่าคำถามที่ผมเสนอไปคราวก่อนไม่ได้รับการเลือก แต่ก็มีคำถามที่น่าสนใจ เช่น นักเรียนในระดับมัธยมศึกษาควรรู้อะไรเกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาคบ้าง แล้วครูควรนำเสนอสิ่งเหล่านั้นกับนักเรียนยังไง

Rolf Landua ตอบว่า … อย่างน้อยที่สุด นักเรียนควรรู้ว่า สิ่งต่างๆ รอบตัวนักเรียน และตัวนักเรียนเองประกอบด้วยอนุภาคพื้นฐาน เช่น up quark, down quark, อิเล็กตรอน, และอิเล็กตรอน นิวตริโน [ทั้งหมดเป็นอนุภาคพื้นฐานที่อยู่ใน Generation 1 ดูเพิ่มเติม] และนักเรียนควรทราบว่า จุดเริ่มต้นของจักรวาลที่นักเรียนอาศัยอยู่คือการระเบิดครั้งใหญ่ ที่เรียกกันว่า Big Bang

ซึ่งหลังจากนั้นมีวิวัฒนาการต่างๆ (เช่น การสลายตัวของอนุภาคที่ไม่เสถียรไปเป็นอนุภาคที่เสถียรมากกว่า) จนกระทั่งทุกสิ่งทุกอย่างเป็นอย่างเช่นทุกวันนี้ [Rolf Landua นำเสนอแผนภาพวิวัฒนาการของจักรวาลด้วย] หากมีเวลามากกว่านั้น Rolf Landua เสนอว่า นักเรียนควรทราบเกี่ยวกับมิวออนซึ่งมีอยู่ในรังสีคอสมิกจากนอกโลก ในส่วนวิธีการสอนนั้น Rolf Landua ไม่ได้เจาะจงลงไป

ช่วงบ่ายเป็นการไปดู กิจกรรมที่ห้องปฏิบัติการของครู (ได้แค่ดู ไม่ได้ทำ เพราะเวลาจำกัด) มีการทดลอง 3 อย่าง คือ การทดลองเพื่อหาอัตราส่วนระหว่างประจุและมวลของอิเล็กตรอน การทดลองเรื่องโฟโตอิเล็กตริก และการทดลองอิทธิพลของสนามแม่เหล็กต่อการเปลี่ยนแปลงสปินของอิเล็กตรอน

จากนั้นเป็นการฟังบรรยายของ Goron เกี่ยวกับการคำนวณหามวล (โดยประมาณ) ของอนุภาคฮิกส์ ซึ่งหาได้จาก “effective mass” [ผมไม่รู้เรื่อง effective mass นะครับ แต่ผมฟัง Goronwy อธิบาย แล้วเข้าใจประมาณว่า แม้ว่าโฟตอนตัวเดียวจะไม่มีมวล แต่ถ้ามันจับคู่กันแล้ว เราจะสามารถหา effective mass ของมันได้]

จากนั้น Mick Storr พาไปเยี่ยมตึก 40 ซึ่งอยู่ใกล้กับที่พักของผมมากๆ เป็นตึกที่นักวิทยาศาสตร์ทั้งจาก CMS และ ATLAS มาทำงาน [รูปในหนังสือเรื่องเจาะเซิร์นของ ดร.บุรินทร์ และ ดร. นรภัทร ก็น่าจะมาจากตึกนี้แหละ]

วันที่ 9 กรกฎาคม 2554

วันนี้เป็นวันเสาร์ และเป็นวันหยุดสุดสัปดาห์แรกของการอบรม (ถ้าไม่นับวันที่ผมเดินทางมาถึงเซิร์นล่วงหน้าเมื่อวันเสาร์ที่แล้ว—ผมอยู่ที่เซิร์นครบ 1 สัปดาห์แล้ว) ไม่มีโปรแกรมอะไรในวันนี้ ผมใช้เวลาช่วงเช้าของวันด้วยการเขียนสรุปเนื้อหาที่ได้อบรมมา 2 เรื่อง คือ “A Possibility of Energy Violation” และ “Some History of Particle Detectors”

จากนั้นผมก็ไปกินอาหารเที่ยง แล้วก็เลยไปห้องสมุด ซึ่งตั้งแต่มาที่เซิร์น ผมยังไม่มีโอกาสเข้าไปชมเลย ผมตั้งใจไปดูหนังสือเกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาค ที่มีการนำเสนอเนื้อหาแบบง่ายๆ และไม่ได้ใช้สมการคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน ในระหว่างทาง ผมโชคดีได้เจอน้องอ๊อฟ ซึ่งนั่งทำงานอยู่แถวๆ โรงอาหาร น้องอ๊อฟแนะนำว่า ผมสามารถหาหนังสือได้จากร้านขายหนังสือในห้องสมุด และ/หรือ ร้านขายของที่ระลึกที่ตึก 33

ผมไปที่ห้องสมุดก่อน และเป็นที่น่าเสียดายว่าร้านขายหนังสือในห้องสมุดปิด (แต่ห้องสมุดไม่ปิด) ผมจึงเดินไปดูหนังสือที่ร้านขายของที่ระลึกที่ตึก 33 แทน มีหนังสือเล่มเล็กหลายเล่มที่นั่น ผมจะตัดสินใจซื้อหนังสือ หลังจากที่ได้เห็นหนังสือในร้านขายหนังสือในห้องสมุดก่อน

น้องอ๊อฟบอกว่า เพื่อนคนไทยของน้องอ๊อฟที่ชื่อว่าเปิ้ล เพิ่งกลับมาจากประเทศแอฟริกาใต้ และจะมีการพบปะกินข้าวด้วยกันนิดหน่อย ผมได้รับเกียรติเข้าร่วมด้วย น้องอ๊อฟบอกจะพาไปชมโบสถ์ที่ชื่อว่า St. Pierre Cathedral ผมจึงติดสอยห้อยตามไปด้วย เราชมเมืองเจนีวากันอีกรอบ และวันนี้ก็มี Lake Parade ด้วย เราทานข้าว(เหนียว)ที่ร้านอาหารไทย (มีดื่มและร้องคาราโอเกะกันนิดหน่อย)

บันทึกพิเศษเรื่อง “A Possibility of Energy Violation” (วันที่ 9 กรกฎาคม 2554)

วันนี้ผมขอสรุปสิ่งที่ได้เรียนรู้จากการฟังบรรยายของ Goron เกี่ยวกับความเป็นไปได้ในการฝ่าฝืนกฎการอนุรักษ์พลังงานในฟิสิกส์อนุภาค ที่ขึ้นต้นแบบนี้ ผมไม่ได้จะสื่อว่า กฎการอนุรักษ์พลังงานใช้ไม่ได้ในฟิสิกส์อนุภาค แต่ประเด็นคือว่า มันไม่ใช่เป็นไปไม่ได้เลยที่กฎการอนุรักษ์พลังงานจะถูกฝ่าฝืน รายละเอียดมีดังนี้ [ผู้ที่สนใจสามารถอ่านบทความของ Goron ได้นะครับ]

Goron เปิดประเด็นด้วยการส่งเสียง 2 ครั้งในเวลาใกล้เคียงกัน โดยเสียงทั้งสองมีความถี่ต่างกันเล็กน้อย (จนแยกแยะไม่ออก) แล้วเขาก็ถามว่า เสียงไหนมีความถี่มากกว่ากัน แน่นอนว่าภายในช่วงเวลาสั้นๆ ของการเปล่งเสียง ไม่มีครูฟิสิกส์คนใดสามารถบอกได้ว่าเสียงไหนมีความถี่มากกว่ากัน

Goron ก็เสนอแนวคิดที่ว่า การวัดความถี่ของเสียงใดๆ ให้ได้ค่าที่แม่นยำระดับหนึ่ง (ระดับไหนก็แล้วแต่) จำเป็นต้องใช้เวลาในการวัด ยิ่งเราต้องการความแม่นยำในการวัดความถี่สูงมาก (หรือความคลาดเคลื่อนในการวัดความถี่น้อย) เราก็ต้องใช้เวลาในการวัดความถี่นั้นนาน ความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนในการวัดความถี่กับช่วงเวลาที่ใช้ในการวัดความถี่เป็นดังนี้

$$\text{Measurement time} \geq r/\Delta f$$

เมื่อ

Measurement time คือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการวัดความถี่

r คือ ค่าคงที่บวกค่าหนึ่ง (ซึ่งหากมีพิสูจน์สมการต่อไป เราจะได้ว่า r = 1/4¶)

Δf คือ ความคลาดเคลื่อนในการวัดความถี่

เมื่อเราเอาค่าคงที่ของพลังค์ (h) คูณทั้งเศษและส่วนของสมการข้างต้น เราจะได้สมการที่แสดงถึงหลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก (The Heisenberg Uncertainty Principle) ดังนี้

Measurement time ≥ rh/hΔf = rh/ΔE

สมการนี้บอกเราว่า การวัดพลังงานของสิ่งใดๆ ให้ได้ค่าที่แม่นยำค่าหนึ่ง จำเป็นต้องใช้เวลาในการวัด หรือ ความคลาดเคลื่อนของค่าพลังงานที่วัดได้ (ΔE) จะแปรผกผันกับเวลาที่ใช้ในการวัด (Measurement time)

จะเกิดอะไรขึ้น เมื่อเราต้องการวัดพลังงานของอนุภาคที่มีช่วงชีวิตสั้นมากๆ คำตอบคือ เราไม่สามารถวัดพลังงานของอนุภาคให้ได้ค่าที่แน่นอน ในช่วงเวลาที่น้อยกว่า rh หรือ h/4¶ ได้ เมื่อเป็นเช่นนี้ เราก็ไม่สามารถบอกได้ว่า พลังงานรวมของระบบก่อนและหลัง ที่อนุภาคหนึ่งสลายตัวไปเป็นอีกอนุภาคหนึ่ง (ภายในช่วงเวลาที่น้อยกว่า rh หรือ h/4¶) จะมีค่าเท่ากันเสมอไป

ดังนั้น ในช่วงเวลาสั้นๆ นี้ เราพิสูจน์ไม่ได้ว่ากฎการอนุรักษ์พลังงานจะเป็นจริงเสมอไป นั่นคือ มีความเป็นไปได้ว่า กฎการอนุรักษ์พลังงานอาจไม่เป็นจริง [ก่อนหน้านี้มีการพูดถึง Vacuum Fluctuation ซึ่งอนุภาคมีการ "ยืม" พลังงานจากสุญญากาศ ซึ่งเชื่อกันว่ามีสสารมืด (Dark matter) และพลังงานมืด (Dark energy) อยู่ ซึ่งทำให้เกิดการฝ่าฝืนกฎการอนุรักษ์พลังงาน ดูเพิ่มเติม]

Goron ย้ำว่า เขาไม่ได้พยายามบอกว่า กฎการอนุรักษ์พลังงานใช้ไม่ได้ในฟิสิกส์อนุภาคอีกต่อไป แต่เขาอยากให้พวกเรา (ครูฟิสิกส์) เปิดใจให้กว้างว่า ในช่วงเวลาที่น้อยกว่า rh หรือ h/4¶ ปรากฏการณ์ในทางฟิสิกส์อนุภาคก็อาจไม่เป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน

บันทึกพิเศษเรื่อง “Some History of Particle Detectors” (วันที่ 9 กรกฎาคม 2554)

ก่อนทำ Bubble chamber Mick (Storr) ได้เล่าประวัติของการพัฒนาเครื่องวัดอนุภาคแบบต่างๆ หลังจากที่มีการค้นพบการแผ่รังสีของธาตุยูเรเนียม โดย Henri Becquerel เมื่อปี 1896

Mick เริ่มเล่าตั้งแต่การค้นพบรังสีคอสมิกจากนอกโลก ในปี 1912 โดย Hess ผู้ซึ่งนั่งบอลลูนขึ้นไปวัดปริมาณรังสีที่ความสูงต่างๆ จากพื้นดิน และพบว่าปริมาณรังสีมีค่ามากขึ้นที่ระดับความสูงมากขึ้น ผลที่ได้นี้ไม่สอดคล้องกับความเชื่อในขณะนั้นที่ว่า รังสีเกิดจากธาตุต่างๆ ในโลก ดังนั้นยิ่งระดับความสูงจากพื้นดินมากขึ้น ปริมาณรังสีที่ตรวจวัดได้ก็จะน้อยลง จากผลที่ได้ Hess จึงสรุปว่า

มีรังสีที่มาจากนอกโลก (ไม่ใช่มาจากแค่ธาตุต่างๆ ในโลกเท่านั้น) การค้นพบดังกล่าวทำให้ Hess ได้รางวัลโนเบลในปี 1936

ช่วงเวลาใกล้เคียงกัน (ประมาณปี 1911-1912—ข้อมูลที่ Mick บอกกับใน Wikipedia ไม่ตรงกัน) Wilson ได้สร้างเครื่องตรวจวัดอนุภาคที่เรียกกันว่า Cloud chamber หลักการทำงานของ Cloud chamber คือว่า ภายใน Could chamber จะมีแอลกอฮอล์ที่อยู่ในภาวะอิ่มตัวยิ่งยวด (Supersaturated) เมื่อมีอนุภาค (หรือรังสี) แผ่เข้ามาใน Cloud chamber อนุภาคนี้จะชนอิเล็กตรอนภายในอะตอมของแอลกอฮอล์ ทำให้อะตอมของแอลกอออล์แตกตัวเป็นไอออน ซึ่งสามารถสังเกตได้จากเส้นทางสีขาวๆ การสร้าง Cloud chamber ทำให้ Wilson ได้รับรางวัลโนเบลในปี 1927

หลังจากนั้นอีกหลายปี Anderson ได้ศึกษาสมบัติของอนุภาค (หรือรังสี) ต่างๆ ใน Cloud chamber (ซึ่งอยู่ในสนามแม่เหล็ก) และ ในปี 1932 เขาได้เปิดเผยการค้นพบอนุภาคชนิดหนึ่ง ที่มีมวลใกล้เคียงกับอิเล็กตรอน แต่มีประจุตรงกันข้าม (นั่นคือ เป็นบวก) ซึ่งต่อมาได้ชื่อว่า โพซิตรอน (Positron) การค้นพบโพซิตรอนนี้สนับสนุนการทำนายทางทฤษฎีของ Dirac ในปี 1928 เกี่ยวกับการมีอยู่ของปฏิสสาร และทำให้ Anderson ได้รางวัลโนเบลในปี 1936

ในปี 1952 Glaser ได้สร้างเครื่องตรวจวัดอนุภาคที่เรียกว่า Bubble chamber โดยมีการกล่าวอ้าง (โดย Mick) ว่า Glaser ได้แรงบันดาลใจในการสร้าง Bubble chamber ในระหว่างที่นั่งดื่มเบียร์และสังเกตฟองเบียร์ หลักการทำงานของ Bubble chamber คือ ภายใน Bubble chamber จะมีของเหลว (เช่น ไฮโดรเจนเหลว) ที่อยู่ในสภาวะร้อนยิ่งยวด (Superheated) เมื่อมีอนุภาคเคลื่อนที่ผ่านของเหลวที่อยู่ในสภาวะร้อนยิ่งยวด จะมีฟองเกิดขึ้นตามเส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคนั้น การถ่ายรูปฟองที่เกิดขึ้นช่วยให้นักฟิสิกส์สามารถวิเคราะห์เส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคในภายหลังได้ ในปี 1960 Glaser ก็ได้รางวัลโนเบลจากการสร้าง Bubble chamber

จากนั้น ในปี 1975 ได้มีการสร้างเครื่องตรวจวัดอนุภาคที่เรียกว่า Multi-wire Proportional Chamber หรือ MWPC โดย Charpak เครื่อง MWPC นี้ใช้หลักการทำงานเดียวกับเครื่องตรวจวัดรังสีไกเกอร์-มูเลอร์ (Geiger-Muller Counter) แต่มีจำนวนสายไฟมากกว่า ทำให้สามารถวัดอนุภาคได้ละเอียดกว่า การประดิษฐ์เครื่อง MWPC ทำให้ Charpak ได้รับรางวัลโนเบลในปี 1992

และอย่างที่รู้กัน เครื่องตรวจวัดอนุภาคที่ใช้อยู่ในปัจจุบันที่เซิร์นไม่ว่าจะเป็น LHCb CMS และ ATLAS เป็นอะไรที่ซับซ้อนมาก และ ผมคิดเอาเองว่า มันจะซับซ้อนมากยิ่งขึ้นต่อไปเพื่อตอบสนองความต้องการของนักฟิสิกส์ ในการเข้าใจปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาค

... หลังจากบรรยายซะยาว Mick ก็ให้เราทำ Cloud chamber ซะที

วันที่ 10 กรกฎาคม 2554

วันนี้ผมตื่นสาย แต่ก็พอมีเวลานั่งเขียนบันทึกประจำวันของเมื่อวาน จนถึงเวลาเที่ยง ผมก็ออกไปทานอาหาร เพื่อที่จะไปร่วมทำกิจกรรม “Treasure Hunt” ซึ่งเริ่มตอนบ่ายโมง

กิจกรรมนี้แบ่งครูออกเป็น 4 กลุ่ม (ตามเดือนที่เกิด) ครูแต่ละกลุ่มต้องเดินทางไปตามเส้นทางที่กำหนดไว้ และหาคำตอบที่อยู่ระหว่างทางให้ครบและถูกต้อง

ผมคิดว่า เราเดินไปแทบจะทั่วเมืองเจนีวาเลยทีเดียว ทิวทัศน์ที่สวยงามของเมืองเจนีวาทำให้ผมแทบไม่ได้สนใจหาคำตอบเลย เพราะมุ่งแต่จะถ่ายภาพสวยๆ

จนถึงเวลา 1 ทุ่ม ครูทุกกลุ่มได้มาถึงที่หมาย นั่นคือภัตตาคารแห่งหนึ่ง เราทานอาหารค่ำที่นั่น และกลับถึงที่พักประมาณ 4 ทุ่ม

ผมสนุกกับกิจกรรมวันนี้มากๆ แต่ก็เหนื่อยและปวดขาไม่น้อยเหมือนกัน

วันที่ 11 กรกฎาคม 2554

วันนี้เป็นวันที่หกของการอบรม โปรแกรมมีดังนี้

9.00-10.00 น. Bubble chamber tutorials
10.30-11.30 น. Concepts of particle physics
11.30-12.30 น. Introduction to cosmology
14.00-15.00 น. Introduction to accelerators
15.00-16.00 น. Introduction to TIGS working groups

ช่วงเช้า Goron แนะนำเว็บไซต์ที่ชื่อว่า Bubble chamber website ซึ่งมีเนื้อหาเกี่ยวกับการวิเคราะห์เส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค และตัวอย่างเส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคต่างๆ ใน Bubble chamber สิ่งสำคัญในช่วงนี้คือว่า Bubble chamber สามารถตรวจวัดได้เฉพาะอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า(บวก หรือ ลบ) เท่านั้น และไม่สามารถตรวจวัดอนุภาคที่เป็นกลางได้ ทั้งนี้เพราะภายใน Bubble chamber มีสนามแม่เหล็ก เมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าผ่านเข้ามาใน Bubble chamber จะ

มีแรงลอเรนซ์ทำให้อนุภาคนั้นเคลื่อนที่ในวิถีโค้ง (นั่นคือ การเคลื่อนที่แบบมีความเร่ง) และปลดปล่อยพลังงานออกมา พลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกมานี้จะทำให้อะตอมของของเหลวใน Bubble chamber (เช่น ไฮโดรเจน) ซึ่งอยู่ในสภาวะร้อนยิ่งยวด (Superheated) แตกตัวเป็นไอออน และเกิดเป็นฟองตามเส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค ทิศการเบนของอนุภาคจะบ่งบอกถึงชนิดของอนุภาค ขณะที่รัศมีความโค้งของเส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคจะบ่งบอกถึงโมเมนตัมของอนุภาค (ดูเพิ่มเติม)

Bubble chamber ไม่สามารถตรวจวัดอนุภาคที่เป็นกลางทางไฟฟ้าได้ ทั้งนี้เพราะเมื่ออนุภาคที่เป็นกลางทางไฟฟ้าผ่านเข้ามาใน Bubble chamber จะไม่มีแรงลอเรนซ์เกิดขึ้นกับอนุภาค ดังนั้น อนุภาคจึงไม่เกิดการเคลื่อนที่แบบโค้ง (นั่นคือ การเคลื่อนที่แบบมีความเร่ง) และไม่มีการสูญเสียพลังงานให้กับอะตอมของของเหลวใน Bubble chamber เมื่อไม่ได้รับพลังงาน ของเหลวใน Bubble chamber จึงไม่เกิดการแตกตัวเป็นไอออน และไม่เกิดเป็นฟองที่สามารถสังเกตได้ อย่างไรก็ตาม ในบางครั้ง การชนกันระหว่างอนุภาคที่เป็นกลางทางไฟฟ้ากับอะตอมของของเหลวใน Bubble chamber ก็ทำให้เกิดอนุภาคที่ไม่เป็นกลางทางไฟฟ้าขึ้น อนุภาคที่เกิดนี้จากการชนนี้ทำให้เกิดฟองที่สามารถสังเกตได้

ทันทีที่ Goron บรรยายเสร็จ Mick ได้แจกแผ่นฟิล์มที่ได้จากการถ่ายรูป Bubble chamber จริงๆ ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าฟิล์มกล้องถ่ายรูปทั่วไปเล็กน้อย Goron เพิ่มเติมว่า นักวิทยาศาสตร์จะฉายแสงผ่านแผ่นฟิล์มนั้น เพื่อให้เกิดภาพขนาดใหญ่บนโต๊ะ ซึ่งจะสะดวกต่อการวิเคราะห์เส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคมากขึ้น

ช่วงต่อมาเป็นการบรรยายเรื่อง “Concept of Particle Physics” โดย Michelangelo Mangano ซึ่งเป็นนักฟิสิกส์ทางทฤษฎี ผู้บรรยายเสนอเนื้อหาด้านฟิสิกส์อนุภาค เช่น อนุภาคมูลฐานต่างๆ (นั่นคือ quarks และ leptons) และอันตรกิริยา (หรือ แรง) ระหว่างอนุภาคเหล่านั้น ผู้บรรยายเน้นว่า สิ่งที่นักวิทยาศาสตร์ที่เซิร์นกำลังทำอยู่ ไม่ได้แตกต่างไปจากสิ่งที่นักปราชญ์สมัยกรีกได้เคยทำมา นั่นคือ การพัฒนาทฤษฎีพื้นฐานที่สามารถใช้อธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติได้ทุกที่ (รวมถึงจักรวาลของเราด้วย) และทุกเวลา (รวมถึงตอนกำเนิดจักรวาลด้วย) ทฤษฎีพื้นฐานในที่นี้ไม่จำเป็นต้องเป็นทฤษฎีเดียว มีหลายทฤษฎีก็ได้ แต่ควรมีจำนวนน้อยที่สุด ผู้บรรยายอุปมาทฤษฎีพื้นฐานเป็นเหมือนตัวต่อเลโก้ ซึ่งมีรูปแบบจำนวนจำกัด แต่สามารถนำไปใช้ต่อเป็นรูปทรงต่างๆ ได้ไม่จำกัด บางคนอาจเรียกทฤษฎีพื้นฐานที่ว่านี้ว่า “ทฤษฎีของทุกสิ่งทุกอย่าง” (Theory of everything) ในช่วงท้ายๆ ผู้บรรยายพูดถึงการฝ่าฝืนกฎการอนุรักษ์พลังงานที่ Goron เคยพูดด้วย (ดูเพิ่มเติม)

ช่วงต่อมาเป็นการบรรยายเรื่อง “Introduction to cosmology” โดย Geraldine Servant การบรรยายเน้นถึงความสัมพันธ์ระหว่างจักรวาลวิทยา (Cosmology) กับฟิสิกส์อนุภาค (Particle physics) ผู้บรรยายให้ข้อมูลว่า การทดลองด้านฟิสิกส์อนุภาค (โดยเฉพาะที่เซิร์น) จะช่วยให้ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างและวิวัฒนาการของจักรวาล ซึ่งเป็นเป้าหมายหลักของการศึกษาด้านจักรวาลวิทยา ทั้งนี้เพราะการทดลองที่เซิร์นสามารถสร้างสถานการณ์ ที่นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าคล้ายคลึงกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นตอนกำเนิดจักรวาล (หรือ Big Bang) เมื่อประมาณ 13.7 พันล้านปีที่แล้ว ผู้บรรยายให้ภาพรวมของสิ่งที่นักจักรวาลวิทยาและนักฟิสิกส์อนุภาคสนใจร่วม กัน นั่นคือ การหา (หรือชี้ตัว) สสารมืด ตลอดจนยกตัวอย่าง สิ่งที่ “น่าจะ” เป็นสสารมืดด้วย จากผลการสังเกตการขยายตัวแบบมีความเร่งของจักรวาล นักจักรวาลวิทยาประมาณว่า จักรวาลน่าจะประกอบด้วยพลังงานมืดประมาณ 74% สสารมืด 22% และสสารที่มองเห็นต่างๆ ประมาณ 4% (พลังงานมืดและ/หรือ สสารมืดนี้อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้จักรวาลขยายตัว)

ช่วงต่อมาเป็นการบรรยายเรื่อง “Introduction to accelerators” โดย Simone Gilardoni ผู้บรรยายเริ่มต้นด้วยการแสดงจอภาพที่รายงานสถานะของ LHC ทางเว็บไซต์ (http://op-webtools.web.cern.ch/op-webtools/vistar/vistars.php) ใครที่ได้มาเยี่ยมเซิร์นจะเห็นจอภาพคล้ายๆ กันนี้อยู่ตามตึกต่างๆ ของเซิร์น ไม่เว้นแม้แต่ในโรงอาหาร (ผมขอสารภาพว่าผมดูไม่เข้าใจครับ ผมรู้แค่เพียงว่ามีท่อที่โปรตอนเคลื่อนที่สวนกันอยู่ 2 ท่อ นั่นคือ BCT สีน้ำเงิน และสีแดง) ผู้บรรยายให้ข้อมูลเกี่ยวกับการเร่งอนุภาคโปรตอน โดยใช้สนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การเบนลำอนุภาคโดยใช้แม่เหล็ก 2 ขั้ว (Dipole magnet) และการบีบลำอนุภาคโดยใช้แม่เหล็ก 4 ขั้ว (Quadrupole magnet) (ผมแนะนำให้ศึกษาแนวคิดพื้นฐานที่: http://microcosm.web.cern.ch/microcosm/LHCGame/LHCGame.html โดยเลือกไอคอน 1 2 และ 3 ตามลำดับครับ)

ช่วงสุดท้ายของวันนี้ Rolf Landua มาแนะนำกิจกรรมกลุ่มที่เรียกว่า TIGS Working Group ซึ่งครูต้องทำ **T**eaching resource, **I**nteractive displays, **G**ames, และ **S**tory boards ... ผมเริ่มลังเลแล้วว่าตัวเองจะเลือกอยู่กลุ่มไหนดี

บันทึกพิเศษเรื่อง “Some Ideas for Teaching NoS: Examples from CERN” (วันที่ 11 กรกฎาคม 2554)

การฟังบรรยายที่เซิร์น ทำให้ผมได้แนวคิดบางอย่างเกี่ยวกับการสอนลักษณะต่างๆ ของธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (Nature of science) ดังนี้

การวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นจากการชนกันของอนุภาคโปรตอน แสดงให้เห็นว่า ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ส่วนหนึ่ง เป็นผลมาจากการอนุมานของนักวิทยาศาสตร์ (The inferential NoS) ทั้งนี้เพราะ ไม่มีนักวิทยาศาสตร์คนใดที่สามารถสังเกตเห็นผลที่เกิดขึ้นจากการชนกันของอนุภาคโปรตอน (เช่น อนุภาคต่างๆ ที่ไม่เสถียรและมีอายุสั้น) โดยตรง หากแต่อนุมานผลเหล่านั้นจากสัญญาณที่ได้จากเครื่องตรวจวัดอนุภาค เพื่อนำไปสร้างหรือพัฒนาเป็นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ต่อไป

การให้ความรู้แก่ประชาชนทั่วไป (ผ่านทางเว็บไซต์) ของเซิร์น แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างวิทยาศาสตร์และสังคม (The social NoS) ซึ่งเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ทั้งนี้เพราะกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์ เช่น การทดลองที่นำอนุภาคโปรตอนมาชนกัน ด้วยเครื่องเร่งอนุภาคขนาดใหญ่ใต้ดิน จะไม่สามารถเกิดได้เลย หากประชาชนที่อาศัยในบริเวณนั้นไม่เข้าใจและต่อต้านการทดลองนี้ นอกจากนี้การที่เซิร์นจัดการอบรมให้แก่ครูและนักศึกษาทั่วโลก ก็สะท้อนให้เห็นถึงความพยายามของเซิร์น ในการสร้างความเข้าใจในกิจกรรมที่เซิร์นกำลังทำอยู่ต่อสังคมโลก

การบรรยายเรื่อง "ความเป็นไปได้ของการฝ่าฝืนกฎการอนุรักษ์พลังงาน" (ดูเพิ่มเติม) สะท้อนให้เห็นว่า ความรู้ทางวิทยาศาสตร์สามารถเปลี่ยนแปลงได้ (The tentative NoS) และพร้อมจะเปลี่ยนแปลงเสมอ โดยเฉพาะในกรณีที่ความรู้ทางวิทยาศาสตร์นั้น ไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติบางอย่างได้ ในกรณีนี้ แม้ว่ากฎการอนุรักษ์พลังงานได้รับการพิสูจน์และยอมรับอย่างมากในทางฟิสิกส์กลศาสตร์ แต่กฎนี้กลับตกเป็นที่สงสัยในระดับฟิสิกส์อนุภาคว่า "อาจจะ" ไม่เป็นจริงเสมอไป

แม้ว่ายังมีตัวอย่างที่เกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์อื่นๆ อีก แต่ผมขอจบไว้เพียงแค่นี้ก่อน แล้วผมค่อยมาเพิ่มเติมทีหลังครับ

บันทึกพิเศษเรื่อง "Uncertainty of Measurement" (วันที่ 11 กรกฎาคม 2554)

การบรรยายของ Michelangelo Mangano ในวันนี้ (11 กรกฎาคม 2554) มีส่วนหนึ่งที่พูดถึงหลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก ซึ่งเกี่ยวข้องกับความเป็นไปได้ที่อนุภาคจะฝ่าฝืนกฎการอนุรักษ์พลังงาน (ดูเพิ่มเติม) ผู้บรรยายใช้วิธีการสอนที่น่าสนใจ ดังนี้

ผู้บรรยายให้ครูเล่นเกมส์ โดยการนับจำนวนวงกลม (ประมาณ 15-20 วง) ที่อยู่ในงานนำเสนอ PowerPoint ในตอนแรก ผู้บรรยายให้เวลาในการนับจำนวนวงกลมนานพอ ที่ทำให้ครูทุกคนสามารถนับจำนวนวงกลมได้ถูกต้องตรงกัน จากนั้นผู้บรรยายให้ครูนับจำนวนวงกลมที่อยู่ในงานนำเสนออีกอันหนึ่ง โดยให้เวลานับน้อยลง คราวนี้ครูเริ่มได้คำตอบที่แตกต่างกัน (บางคนนับทัน บาง

คนนับไม่ทัน) ต่อมา ผู้บรรยายให้นับจำนวนวงกลมที่อยู่ในงานนำเสนออีกอันหนึ่ง โดยให้เวลานับน้อยลงกว่าเดิมอีก คำตอบของครูก็ยิ่งแตกต่างกันมากขึ้น

ผู้บรรยายนำจำนวนครูทั้ง 3 กรณีมาเขียนกราฟฮิสโทรแกรม และเปรียบเทียบกัน ผู้บรรยายเปิดประเด็นว่า เวลาที่ใช้ในการวัดแปรผัน (ตรง) กับความแม่นยำของค่าที่วัดได้ (การวัดที่แม่นยำหรือมีความคลาดเคลื่อนน้อย ต้องใช้เวลามาก) จากนั้นผู้บรรยายเสนอ (เช่นเดียวกับ Goron) ว่าความไม่แน่นอนในการวัดพลังงานของอนุภาค "อาจจะ" นำไปสู่การฝ่าฝืนกฎการอนุรักษ์พลังงานของอนุภาค หรือที่ผู้บรรยายเรียกว่า การโกงธรรมชาติ (Cheating the nature) ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่อนุภาคตัวหนึ่งมีอันตรกิริยากับอนุภาคอีกตัวหนึ่งได้นั้น คำอธิบายทางฟิสิกส์อนุภาคระบุว่า อนุภาคตัวแรกต้องส่งอนุภาคนำแรง (หรือ อนุภาคโบซอน) ไปยังอนุภาคตัวที่สอง ซึ่งหากพิจารณาในช่วงก่อน ระหว่าง และหลังการมีอันตรกิริยาระหว่างการแลกเปลี่ยนอนุภาคโบซอนของอนุภาคทั้ง 2 ตัว พลังงาน (หรือมวล) รวมของระบบอาจจะไม่เท่ากัน โดย

$$M_{(\text{ก่อนอันตรกิริยา})} = m_1 + m_2$$
$$M_{(\text{ระหว่างอันตรกิริยา})} = m_1 + m_b + m_2$$
$$M_{(\text{หลังอันตรกิริยา})} = m_1 + m_2$$

เมื่อ

M คือ มวลรวมของระบบ

m_1 คือ มวลของอนุภาคตัวที่หนึ่ง

m_2 คือ มวลของอนุภาคตัวที่สอง

m_b คือ มวลของอนุภาคโบซอน

อย่างไรก็ตาม มวลของอนุภาคตัวแรกไม่ว่าจะก่อนหรือหลังส่งอนุภาคโบซอนจะต้องเท่ากัน เพราะเป็นอนุภาคชนิดเดียวกัน และมวลของอนุภาคตัวที่สองไม่ว่าจะก่อนหรือหลังรับอนุภาคโบซอนจะต้องเท่ากัน เพราะเป็นอนุภาคชนิดเดียวกัน นั่นหมายความว่า แม้ว่ามวลรวมของระบบก่อนและหลังอันตรกิริยามีค่าเท่ากัน แต่จะมีค่าน้อยกว่ามวลรวมของระบบระหว่างอันตรกิริยา การที่มวลรวมของระบบมีค่าไม่คงตัว (แม้เพียงแค่ในช่วงเวลาสั้นๆ ระหว่างการเกิดอันตรกิริยา) แสดงว่า อันตรกิริยานี้อาจไม่เป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน และนี่คือความเป็นไปได้หนึ่งของ "การโกงธรรมชาติ"

วันที่ 12 กรกฎาคม 2554

วันนี้เป็นวันที่เจ็ดของการอบรม โปรแกรมมีดังนี้

09.00-10.00 น. Introduction to cosmology (ต่อจากเมื่อวาน)
11.00-12.00 น. Lecture review and discussion
12.00-12.30 น. Selecting a working group
14.00-15.00 น. Introduction to accelerators (ต่อจากเมื่อวาน)
15.00-18.00 น. Group working

ช่วงเช้าเป็นการบรรยายเกี่ยวกับจักรวาลวิทยา โดย Geraldine Servant ซึ่งเป็นเนื้อหาต่อจากเมื่อวานนี้ (ผู้ที่สนใจสามารถดาวน์โหลดงานนำเสนอได้ที่ http://indico.cern.ch/) ผู้บรรยายให้ข้อมูลว่า ความพยายามค้นหา (หรือตรวจวัด) สิ่งที่ “น่าจะ” เป็นสสารมืด สามารถทำได้ 2 วิธี คือ 1. วิธีโดยตรง (Direct) และ 2. วิธีโดยอ้อม (Indirect)

วิธีโดยตรงเป็นการตรวจวัดอนุภาค ที่น่าจะเป็นสสารมืด เช่น Weakly interacting massive particles (หรือ WIMPs) ซึ่งเดินทางมาจากนอกโลกและมีโอกาสชนอนุภาคต่างๆ ที่อยู่ในโลก (แม้ว่าจะมีโอกาสน้อยมากๆ) วิธีโดยอ้อมเป็นการตรวจวัดอนุภาคที่สสารมืดปล่อยออกมา เช่น โฟตอน อิเล็กตรอน โพซิตรอน โปรตอน แอนตีโปรตอน และนิวตริโน

จากนั้น ผู้บรรยายเสนอเนื้อหาเกี่ยวกับความไม่สมดุลกัน ระหว่างปริมาณสสารและปริมาณปฏิสสารในจักรวาล เพื่อชี้ให้พวกเรา (ครูที่เข้าอบรม) เห็นข้อจำกัดของแบบจำลองมาตราฐาน (The standard model) ในการอธิบายการมีอยู่ของสสารมืด และความไม่สมดุลกันระหว่างสสารและปฏิสสาร (ผู้บรรยายเสนอวิธีการหาสัดส่วนระหว่างสสารและปฏิสสารด้วย แต่ผมไม่เข้าใจครับ) ในตอนท้ายๆ ของการบรรยาย ผู้บรรยายนำเสนอทฤษฎีทางเลือกเกี่ยวกับการมีอยู่ของมิติพิเศษ (Extra dimensions) และ Supersymmetry (ผมไม่รู้จะคำภาษาไทยว่าอะไรดีครับ) ในจักรวาล

จากนั้น Mick ให้ครูแบ่งกลุ่มกัน เพื่อเขียนคำถามที่ตนเองสงสัยเกี่ยวกับการบรรยายที่ผ่านมา

ช่วงต่อมาเป็นการเลือกกิจกรรมตามความสนใจ ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาค และ/หรือ กิจกรรมของเซิร์น แก่นักเรียน มีกิจกรรมให้เลือกอยู่ 3 กิจกรรม คือ

Teacher/Student lab (กิจกรรมทดลองปฏิบัติการ)

Educational resources (กิจกรรมพัฒนาแหล่งเรียนรู้)

Inquiry-based learning (กิจกรรมพัฒนาการเรียนรู้แบบสืบเสาะ)

ผมตัดสินใจเลือกกิจกรรมที่ 3 เพราะผมอยากพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ร่วมกับครูต่างชาติ (โดยเฉพาะครูจากประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีการส่งเสริมการเรียนรู้แบบนี้มานานแล้ว)

ตอนบ่ายเป็นการบรรยายเรื่อง Introduction to accelerators โดย Simone Gilardoni ต่อจากเมื่อวานนี้ (ผู้ที่สนใจสามารถดาวน์โหลดงานนำเสนอได้ที่ http://indico.cern.ch/) เนื้อหาเป็นการบรรยายเกี่ยวกับการเร่งอนุภาคโปรตอนใน LHC ในตอนเริ่มต้น ผู้บรรยายให้เหตุผลของการใช้โปรตอน (แทนที่จะเป็นอิเล็กตรอน) เป็นอนุภาคตั้งต้นของการชน เพื่อศึกษาปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์อนุภาคว่า 1. อนุภาคโปรตอนประกอบด้วย quark 3 ตัว เมื่อมาชนกัน จึงมีโอกาสที่จะสลายเป็นอนุภาคต่างๆ ได้มากกว่าอิเล็กตรอน ซึ่งเป็นอนุภาคมูลฐาน 2. เนื่องจากการสูญเสียพลังงานจากการแผ่รังสี (Radiation) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่แบบมีความเร่ง จะแปรผกผันกับมวลของอนุภาคยกกำลังสาม การใช้โปรตอน (ซึ่งมีมวลมากกว่าอิเล็กตรอน) จึงมีการสูญเสียพลังงานน้อยกว่าการใช้อิเล็กตรอน ผู้บรรยายแสดงระดับพลังงานในวงการเคลื่อนที่ของโปรตอนใน PS SPS และ LHC ซึ่งมีค่า 1.4-26 GeV, 26-450 GeV, และ 450 GeV – 7 TeV ตามลำดับ โดยพลังงานขั้นต่ำที่เป็นเงื่อนไขของการเกิดอนุภาคฮิกส์ (Higgs) มีค่าประมาณ 150 GeV ดังนั้น นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่า การชนกันของโปรตอนที่มีพลังงานขนาด 7 TeV เป็นเงื่อนไขที่เพียงพอกับการเกิดอนุภาคฮิกส์ (เว้นเสียแต่ว่า จะไม่มีอนุภาคฮิกส์เกิดขึ้น) ผู้บรรยายให้ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุที่ใช้ทำขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก (ซึ่งทำให้โปรตอนเคลื่อนที่อยู่ในวง LHC) ว่าเป็นนีโอเบียม-ไทเทเนียม (Nb-Ti) ซึ่ง (ถ้าหากผมเข้าใจไม่ผิด) เป็นวัสดุเดียวกันกับขดลวดของเครื่องเร่งที่สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน)

เมื่อวัสดุที่ใช้ทำขดลวดดังกล่าวมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤต วัสดุนี้จะเป็นสารนำไฟฟ้ายิ่งยวด ซึ่งสามารถนำไฟฟ้าได้โดยไม่มีการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อน ดังนั้น จึงต้องมีระบบให้ความเย็นแก่ขดลวดดังกล่าว เพื่อให้อุณหภูมิของขดลวดต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤต (เซิร์นควบคุมอุณหภูมิของขดลวดอยู่ที่ 1.9 เคลวิน) ณ ปัจจุบันนี้ สนามแม่เหล็กที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของโปรตอนใน LHC มีค่าประมาณ 9 เทสลา ซึ่งสามารถบีบหรือโฟกัสลำโปรตอนให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 มิลลิเมตร (เส้นผ่านศูนย์กลางของลำโปรตอนมีขนาดเล็ก จะทำให้อนุภาคโปรตอนมีโอกาสชนกันมากขึ้น) ในตอนท้ายๆ ของการบรรยาย ผู้บรรยายนำเสนอภาพเหตุการณ์ความเสียหายที่เคยเกิดขึ้นจากความผิดพลาดในขณะที่เร่งอนุภาคโปรตอน (ทั้งที่เกิดขึ้นในเซิร์นและที่อื่นๆ) เช่น ระบบให้ความเย็นไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิของขดลวด ทำให้เกิดความร้อนในขดลวดที่มากเกินไป

และในที่สุดขดลวดไหม้ และสนามแม่เหล็กที่น้อยเกินไป ซึ่งไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของลำโปรตอนได้ ทำให้โปรตอนพุ่งชนท่อลำเลียง เป็นต้น

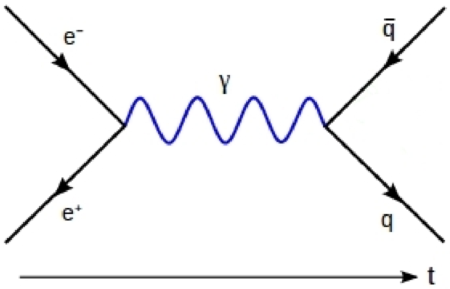
ช่วงสุดท้ายของวันเป็นการเข้ากลุ่มตามความสนใจ เพื่อนำเสนอความคิดของตนเอง

วันที่ 13 กรกฎาคม 2554

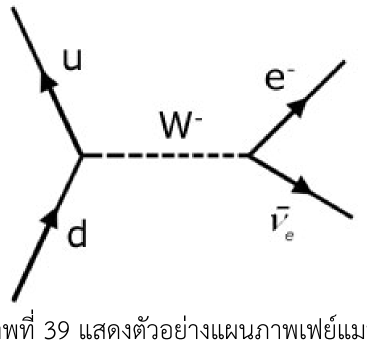
วันนี้เป็นวันที่แปดของการอบรม โปรแกรมมีดังนี้

9.00-10.00 น. LHC Physics: Beyond the Standard Model
16.00-17.00 น. Optional Lecture

ช่วงแรกเป็นการบรรยายโดย Michelangelo Mangano ซึ่งเนื้อหาต่อเนื่องมาจากการบรรยายเมื่อวันจันทร์ที่ผ่านมา ผู้บรรยายเริ่มต้นด้วยการแสดงตัวอย่างแผนภาพเฟย์แมน (Feynman diagram) ซึ่งเป็นแผนภาพที่ใช้แสดงปรากฏการณ์ในระดับฟิสิกส์อนุภาค เช่น การบรรลัยระหว่างอิเล็กตรอนและโพซิตรอนแล้วเกิดเป็นอนุภาคใหม่ 2 ตัว–นั่นคือ ควาร์ก และแอนติควาร์ก และการสลายตัวของดาวน์ควาร์กไปเป็นอัปควาร์ก ซึ่งปล่อยอนุภาคออกมา 2 ตัว นั่นคือ อิเล็กตรอนและแอนติอิเล็กตรอนนิวตริโน (ดูตัวอย่างแผนภาพเฟย์แมนข้างล่าง ตามลำดับ)



ภาพที่ 38 แสดงตัวอย่างแผนภาพเฟย์แมน
ที่มา: http://www.quantumdiaries.org/wp-content/uploads/2011/07/eetoqqbar.jpg



ภาพที่ 39 แสดงตัวอย่างแผนภาพเฟย์แมน
ที่มา: **http://www.a-levelphysicstutor.com/images/nuclear/feynman06.jpg**

ผู้บรรยายชี้ให้เห็นว่า ประจุไฟฟ้าของอนุภาคก่อนและหลังเกิดปรากฏการณ์จะต้องเท่ากัน เช่น ในตัวอย่างแรก ประจุไฟฟ้าก่อนและหลังปรากฏการณ์ คือ 0 และในตัวอย่างที่สอง ประจุไฟฟ้าก่อนและหลังปรากฏการณ์ คือ -1/3 (ดูประจุไฟฟ้าและมวลของเลปตอนและควาร์กได้จาก http://www.cpepweb.org/images/chart_details/Fermions.jpg) ผู้บรรยายให้ข้อมูลด้วยว่า ในการเกิดปรากฏการณ์เหล่านี้ อนุภาคก่อนปรากฏการณ์ไม่ได้เปลี่ยนไปเป็นอนุภาคหลังปรากฏการณ์ทันที หากแต่ในระหว่างนั้น จะมีอนุภาคโบซอนเกิดขึ้น (ในตัวอย่างแรกคือโฟตอน และในตัวอย่างที่สองคือ W^- โบซอน) ซึ่งต่อมาจะสลายไปเป็นอนุภาคอื่นๆ อีกที (ดูมวลและประจุไฟฟ้าของโบซอนได้จาก http://www.cpepweb.org/images/chart_details/Bosons.jpg)

ประเด็นที่สำคัญคือว่า บางครั้งเราจะพบว่า มวลของอนุภาคทั้งหมดก่อนเกิดปรากฏการณ์จะมีค่าน้อยกว่าอนุภาคโบซอนที่เกิดขึ้นมาก ดังเช่นในตัวอย่างที่สอง มวลของอัปควาร์ก (0.002 GeV/c^2) และดาวน์ควาร์ก (0.005 Gev/c^2) รวมกันมีค่าประมาณ 0.007 GeV/c^2 ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับมวลของอนุภาค W^- โบซอน ซึ่งมีค่าประมาณ 80.39 GeV/c^2 คำถามคือว่า อนุภาค W- โบซอนเอามวล (หรือพลังงาน) มาจากไหน ผู้บรรยายชี้ให้เห็นว่า นี่เป็นตัวอย่างหนึ่งของการฝ่าฝืนกฎการอนุรักษ์พลังงาน ในช่วงเวลาสั้นๆ ซึ่งอนุภาค W^- โบซอนยืมพลังงานมาจากสุญญากาศ (ดูเพิ่มเติมเกี่ยวกับ Quantum fluctuation และ Vacuum energy) หรือปรากฏการณ์ที่ผู้บรรยายเรียกว่า “การโกงธรรมชาติ” นั่นเอง (ดูเพิ่มเติม)

นอกจากนี้ ผู้บรรยายชี้ให้เห็นว่า การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีแท้จริงแล้ว เป็นการสลายตัวของควาร์กในองค์ประกอบของนิวเคลียสของอะตอมของธาตุ กัมมันตรังสีนั่นเอง เช่น การสลายตัวของนิวเคลียสของซีเซียมไปเป็นแบเรียม ซึ่งมีการปล่อยอนุภาคเบตา (หรืออิเล็กตรอน) และนิวตริโนออกมา (ดังภาพข้างล่าง)

$$^{137}_{55}Cs \rightarrow {}^{137}_{56}Ba + e^- + \bar{\nu}_e$$

ภาพที่ 40 แสดงการสลายตัวของนิวเคลียสของซีเซียมไปเป็นแบเรียม

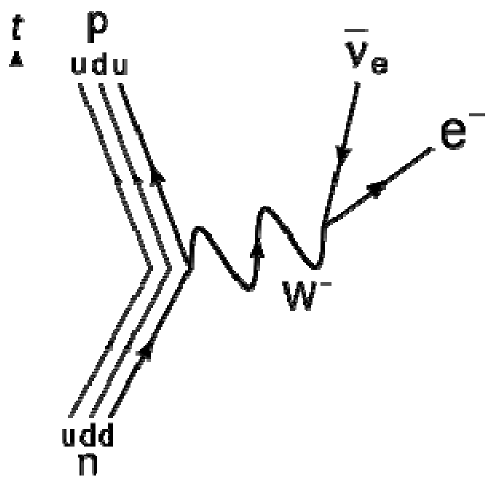
เป็นการสลายตัวของนิวตรอน (ในนิวเคลียสของซีเซียม) ไปเป็นโปรตอน (ดังภาพข้างล่าง)

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$$

ภาพที่ 41 แสดงการสลายตัวของนิวตรอนไปเป็นโปรตอน

ที่มา: http://www4.nau.edu/meteorite/meteorite/Images/EquationB1.jpg

ซึ่งก็คือการสลายตัวของดาวน์ควาร์ก (ในนิวตรอนในนิวเคลียสของซีเซียม) ไปเป็นอัปควาร์ก (ดังภาพข้างล่าง) นั่นเอง



ภาพที่ 42 แสดงแผนภาพเฟย์แมน ซึ่งแสดงการสลายตัวของนิวตรอนไปเป็นโปรตอน
ที่มา: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/89/Beta_Negative_Decay.svg/310px-Beta_Negative_Decay.svg.png

นอกจากนี้ ผู้บรรยายยังได้บรรยายสมบัติต่างๆ (เช่น มวล ประจุไฟฟ้า และสปิน) ของอนุภาคในแบบจำลองมาตรฐานด้วย สมบัติเหล่านี้เป็นสมบัติเฉพาะตัวของอนุภาคแต่ละชนิด (ไม่มีเหตุผลมาอธิบายว่า ทำไมอนุภาคนี้ต้องมีมวลเท่านี้ และมีประจุไฟฟ้าเท่านั้น)

หลังจากการบรรยายจบลง Mick ให้ครูไปทำกิจกรรมกลุ่ม (ซึ่งในกรณีของผมคือการจัดกิจกรรมการเรียนสอนฟิสิกส์อนุภาคแบบสืบเสาะ) จนถึงตอน 16.00 น. (ผมค่อยเล่าสิ่งที่กลุ่มของผมกำลังทำอยู่ทีหลังนะครับ เพราะว่าตอนนี้สมาชิกในกลุ่มยังคุยกันไม่ลงตัว)

ตอนเย็นเป็นการบรรยายพิเศษของ Goron เกี่ยวกับประวัติความคิดของนักปราชญ์และนักวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับจักรวาลและอนุภาคมูลฐาน Goron เริ่มเล่าตั้งแต่สมัยกรีก (และจบการบรรยายที่สมัยกรีกนี่แหละ เพราะประวัติยาวและมีรายละเอียดมาก) ก่อนที่จะสรุปว่า ... มีความเชื่อตั้งแต่สมัยกรีกแล้วว่า มนุษย์เราสามารถเข้าใจโครงสร้างของจักรวาลและสิ่งรอบๆ ตัวเองได้ และความเชื่อนี้เองผลักดันให้เกิดความพยายามศึกษาปรากฏการณ์ธรรมชาติ (นั่นคือวิทยาศาสตร์) มาจนถึงทุกวันนี้

วันที่ 14 กรกฎาคม 2554

วันนี้เป็นวันที่ 9 ของการอบรม โปรแกรมมีดังนี้

9.00-12.00 น. Working group

14.30-15.30 น. Introduction to antimatter

16.00-16.30 น. Cool Apps

16.30-17.30 น. Q/A: Accelerators

ช่วงเช้าเป็นเวลาของการทำกิจกรรมกลุ่ม [ผมแอบเอาเวลาช่วงนี้ไปซื้อหนังสือมาเล่มหนึ่งที่ห้องสมุด หนังสือชื่อว่า Particle Physics: Beginners' Guides โดย Brian R. Martin ราคา 20 CHF]

ช่วงบ่ายเป็นการบรรยายโดย Rolf Landua ซึ่งเกี่ยวกับปฏิสสาร Rolf เริ่มต้นด้วยการแนะนำภาพยนตร์เรื่อง Angel & Demons ซึ่งมีการกล่าวถึงการสร้างปฏิสสารที่เซิร์น ซึ่งบางส่วนในหนังเป็นเรื่องจริง ขณะที่อีกบางส่วนไม่จริง สิ่งไม่จริงอย่างแรกที่ Rolf พูดถึงคือว่า เซิร์นมีความสัมพันธ์ที่ไม่ดีกับวาติกัน (The Vatican) Rolf ให้ข้อมูลว่า ทุกสิ่งทุกอย่างในปัจจุบันนี้ (รวมถึงมนุษย์) ประกอบขึ้นมาจากอนุภาคสสาร (ซึ่งก็คือ อัปควาร์ก ดาวน์ควาร์ก อิเล็กตรอน และนิวตริโน) โดยอนุภาคเหล่านี้มีมวลและประจุไฟฟ้าเฉพาะตัว อนุภาคที่เป็นสสารจะมีอนุภาคที่เป็นปฏิสสารของมันเอง ซึ่งอนุภาคทั้งคู่จะมีสมบัติเหมือนกันทุกประการ แต่มีประจุไฟฟ้าตรงกันข้ามกัน ตัวอย่างคู่ของสสารและปฏิสสาร เช่น ...

อิเล็กตรอนและโพซิตรอน (อย่างแรกมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ อย่างหลังมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก)

โปรตอนและแอนติโปรตอน (อย่างแรกมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก อย่างหลังมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ)

นิวตรอนและแอนตินิวตรอน (อย่างแรกมีประจุไฟฟ้าเป็นกลาง อย่างหลังมีประจุไฟฟ้าเป็นกลาง)

Rolf ย้ำว่า แม้ว่านิวตรอนและแอนตินิวตรอนจะมีสมบัติภายนอก (เช่น มวล และ ประจุไฟฟ้า) เหมือนกัน แต่เมื่อพิจารณาโครงสร้างภายในแล้ว ทั้งคู่ไม่เหมือนกัน (นิวตรอนประกอบด้วยอัปควาร์ก 1 ตัว และดาวน์ควาร์ก 2 ตัว ขณะที่แอนตินิวเตรอนประกอบแอนติอัปควาร์ก 1 ตัว และแอนติดาวน์ควาร์ก 2 ตัว) อนุภาคสสารและอนุภาคปฏิสสารจะเกิดขึ้น (จากพลังงาน) เป็นคู่เสมอ ขณะที่การชนกันของทั้งคู่จะทำให้เกิดการบรรลัย ซึ่งให้ผลลัพธ์เป็นพลังงาน แม้ว่าปฏิสสารจะไม่มีอยู่แล้วในปัจจุบันนี้ เซิร์นสามารถสร้างอนุภาคปฏิสสารขึ้นได้ โดยการชนกันของอนุภาคที่มีพลังงานสูง (พลังงานส่วนหนึ่งจะเปลี่ยนไปเป็นคู่อนุภาคสสารและอนุภาคปฏิสสาร) สิ่งที่เป็นข้อสงสัยคือว่าหลังจากการระเบิดครั้งใหญ่ (Big bang) พลังงานต้องเปลี่ยนไปเป็น คู่อนุภาคสสารและปฏิสสารในปริมาณที่เท่ากัน แต่เหตุใดจักรวาลในปัจจุบันนี้จึงเต็มไปด้วยสสาร แล้วปฏิสสารหายไปไหน แน่นอนว่า การบรรลัยไม่ใช่สาเหตุของการหายไปของปฏิสสาร ทั้งนี้เพราะสสารต้องหายไปจากการบรรลัยด้วย แต่นี่สสารยังคงอยู่ในจักรวาล นอกจากประจุไฟฟ้าที่แตกต่างกัน สสารมีสมบัติอะไรที่แตกต่างไป

จากปฏิสสาร จึงทำให้พวกมันหลงเหลืออยู่ในจักรวาล บางทีอาจมีความแตกต่างเล็กน้อยระหว่างสมบัติของสสารและสมบัติของปฏิสสาร (ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ยังไม่รู้) ที่ทำให้สสารยังคงมีอยู่ในจักรวาลจนถึงปัจจุบัน ขณะที่ไม่มีปฏิสสารอยู่แล้ว การศึกษาสมบัติของปฏิสสาร เช่น การศึกษาระดับพลังงานของอะตอมแอนติไฮโดรเจน (ซึ่งถูกสร้างขึ้นจากแอนติโปรตอนและโพซิตรอน) และการศึกษาพฤติกรรมของปฏิสสารในสนามโน้มถ่วง จะช่วยให้ความกระจ่างในคำถามข้างต้น Rolf ให้ข้อมูลว่าการสร้างปฏิสสาร เพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานหรืออาวุธ (ตามที่ในหนัง Angel & Demons เสนอนั้น) เป็นการลงทุนที่ไม่คุ้มค่า ทั้งนี้เพราะการสร้างปฏิสสาร (เช่น แอนติโปรตอน) ต้องใช้พลังงานสูงมากๆ อย่างไรก็ตาม มีการสร้างปฏิสสารเพื่อใช้ประโยชน์ด้านอื่น เช่น การใช้โพซิตรอน (ปฏิสสารของอิเล็กตรอน) ในการถ่ายภาพรังสีส่วนตัดด้วยคอมพิวเตอร์ (Tomography)

ช่วงต่อมาเป็นการนำเสนอโปรแกรมจำลองเครื่องตรวจวัดอนุภาค ATLAS โดย Joao Pequenao และ Neng Xu (Mick เชิญทั้งคู่มาพูดเพราะว่าพวกเรายังไม่มีโอกาสไปเยี่ยมชม ATLAS เลย–และไม่รู้ว่าพวกเราจะได้มีโอกาสนั้นไหม) ผู้ที่สนใจสามารถเข้าชมโปรแกรมจำลองที่ว่านี้ได้ที่ http://pdgusers.lbl.gov/~pequenao/camelia/ (โปรแกรมยังอยู่ในช่วงการพัฒนาอยู่นะครับ) ช่วงสุดท้ายของวันเป็นการถาม-ตอบ โดย Simone Gilardoni (คำถามมีหลากหลายมากครับ)

ตอนเย็นเป็นการแข่งขันฟุตบอลกระชับความสัมพันธ์ ระหว่างครูจากประเทศในทวีปยุโรปและครูจากประเทศที่ไม่อยู่ในทวีปยุโรป ผมไม่ได้ลงเล่นครับ เพราะไม่ได้เอารองเท้ากีฬามา

วันที่ 15 กรกฎาคม 2554

วันนี้เป็นวันที่สิบของการอบรม โปรแกรมมีดังนี้

9.00-12.00 น. การทำงานกลุ่ม
14.00-15.00 น. Medical Applications of Particle Physics
16.00-17.00 น. Q/A

วันนี้ผมตื่นเช้ามาด้วยความรู้สึกคอแห้งมาก ทั้งๆ ที่ไม่ได้ดื่มน้ำน้อยแต่อย่างใด การดื่มน้ำไปขวดหนึ่งหลังจากตื่นนอนก็ไม่ได้ทำให้ผมรู้สึกดีขึ้น ... อาการแบบนี้เหมือนจะบอกว่า ผมกำลังจะป่วย

ด้วยผมตื่นเช้ากว่าปกติ ผมจึงฆ่าเวลาด้วยการลองแปลคำบรรยายวีดีทัศน์ ซึ่งฉายเพื่อให้ข้อมูลคนที่มาชมการจัดแสดงใน Globe ตามคำเชิญชวนของ Rolf ผมใช้เวลาแปลประมาณ 1 ชั่วโมง

เมื่อแปลเสร็จ (ดูภาคผนวก) ผมเริ่มมีความหวัง (อยู่ลึกๆ) ว่า จะมีคำบรรยายวีดีทัศน์ที่เป็นภาษาไทยแสดงอยู่ที่ Globe จากนั้นผมจึงออกไปทำกิจกรรมกลุ่มจนถึงเที่ยง

ช่วงบ่ายเป็นการบรรยายเกี่ยวกับการนำความรู้ด้านฟิสิกส์อนุภาคไปใช้ทางการแพทย์ โดย Manjit Dosanjh ผมสังเกตว่า Mick ดูจะกระตือรือร้นกับการบรรยายครั้งนี้เป็นพิเศษ เพราะก่อนหน้านี้มีครูจำนวนหนึ่งมักถาม (ทั้งต่อหน้าและลับหลัง) ว่า งานวิจัยต่างๆ ที่เซิร์นกำลังศึกษาอยู่ (ไม่ว่าจะเป็น อนุภาคฮิกส์ก็ดี ปฏิสสารก็ดี หรือสสารมืดก็ดี) สุดท้ายแล้วมีประโยชน์อย่างไร คนธรรมดาๆ จะได้ประโยชน์อะไรจากการวิจัยเหล่านี้บ้าง Mick ดูจะมั่นใจว่า การบรรยายครั้งนี้จะทำให้ครูหลายคนได้คำตอบของคำถามดังกล่าว ผู้บรรยายยกตัวอย่างการนำความรู้ด้านฟิสิกส์อนุภาคมาใช้ทางการแพทย์ เช่น ....

การค้นพบรังสีเอ็กซ์ โดย Rontgen ในปี 1985 ซึ่งต่อมามีการนำรังสีเอ็กซ์มาใช้ตรวจดูอวัยวะภายในร่างกายอย่างแพร่หลาย
การค้นพบธาตุกัมมันตรังสี โดย Becquerel ในปี 1986 ซึ่งนำไปสู่การรักษามะเร็งโดยการใช้แร่กัมมันตรังสี (Brachytheraphy) ในเวลาต่อมา

ในปัจจุบัน มีการนำความรู้ด้านฟิสิกส์อนุภาคมาใช้ทางการแพทย์อย่างหลากหลาย เช่น Magnetic Resonance Imaging, Positron Emission Tomography, และ Positron Emission Mammography [ผมต้องขออภัยด้วยครับ เพราะว่าผมไม่ค่อยเข้าใจเรื่องการแพทย์เท่าไหร่]

จากนั้นเป็นการถาม-ตอบ โดย Michelangelo Mangano เนื่องจากตอนนี้ผมปวดหัวมากแล้ว จึงฟังไม่ค่อยรู้เรื่องเท่าไหร่ แต่มีประเด็นหนึ่งที่ผมจับได้ และเกิดข้อสงสัย นั่นคือ จากความรู้ที่ว่า การที่อนุภาคของสสารใดๆ มาชนกันอนุภาคปฏิสสารของมัน จะทำให้เกิดการบรรลัย (Annihilation) ขึ้น อย่างไรก็ตาม มีอนุภาคบางอย่าง เช่น ¶^{0} ซึ่งเป็นอนุภาคมีซอน (Meson) ที่เกิดจาก u quark และ anti-u quark **หรือ** d quark และ anti-d quark (ดูเพิ่มเติม) เหตุใดคู่ของอนุภาคสสารและปฏิสสารเหล่านี้จึงรวมตัวกันเป็นอนุภาคมีซอนได้โดยไม่เกิดการบรรลัย?

[ถามเองตอบเอง ผมเปรียบเทียบช่วงชีวิต (Lifetime) ของ ¶$^{-}$ ¶$^{+}$ และ ¶^{0} แล้วพบว่า ช่วงชีวิตของ ¶^{0} มีค่าน้อยมาก นั่นอาจหมายความว่า ¶^{0} เป็นเพียงอนุภาคที่เกิดขึ้นก่อนการบรรลัย] ผมต้องเอาคำถามนี้ไปปรึกษาน้องอ๊อฟและน้องเก่งอีกครั้ง [ผมขอจบบันทึกของวันนี้ด้วยความงง เพราะผมปวดหัวแล้วครับ]

วันที่ 16 กรกฎาคม 2554

วันนี้เป็นวันเสาร์ ซึ่งไม่มีโปรแกรมการอบรมใดๆ

ผมตื่นสายนิดหน่อย หลังจากกินอะไรเล็กน้อย ผมเริ่มอ่านหนังสือที่เพิ่งซื้อมา (Particle Physics: Beginners' Guides) ผมอ่านได้ 3 บท (Particles and forces, Theory and experiment, และ Accelerators and beams) จนถึงเวลาบ่าย 3 โมงเย็น [ผมตั้งใจจะเขียนสรุปเนื้อหาในหนังสือเล่มนี้ หลังจากที่ผมอ่านมันจบครับ]

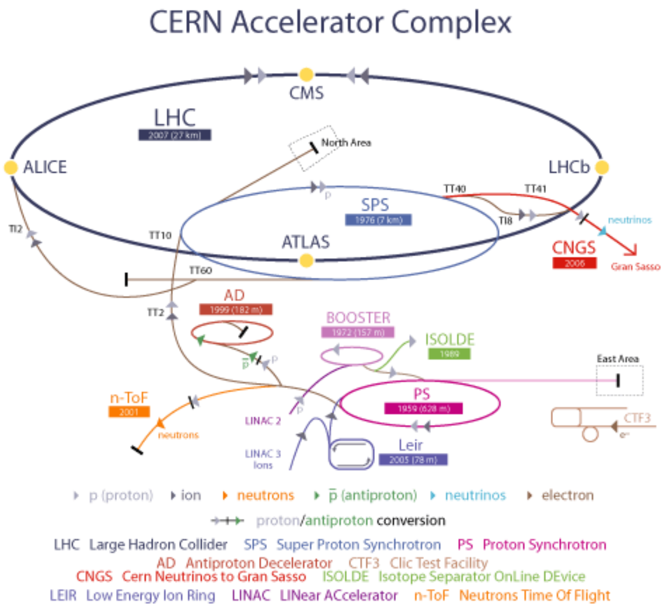
จากนั้น น้องเก่งมารับเพื่อไปทำบาบีคิวกินกันที่บ้านเช่าของน้องเก่ง เรากินและคุยกันจนถึงเวลาประมาณ 4 ทุ่ม ในระหว่างนี้ ผมปรึกษาน้องเก่งว่า เหตุใด u quark กับ anti-u quark หรือ d quark กับ anti-d quark ซึ่งประกอบกันขึ้นเป็น ¶^{0} (อนุภาคมีซอนชนิดหนึ่ง) จึงไม่เกิดการบรรลัย (annihilation)? [ผมเกิดข้อสงสัยนี้หลังจากการฟังบรรยายเมื่อวาน] คำตอบที่ผมได้จากน้องเก่งสอดคล้องกับสิ่งที่ผมคิดไว้ นั่นคือ ¶^{0} เป็นอนุภาคที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นมากๆ ก่อนการบรรลัย น้องเก่งเสริมด้วยว่า ปรากฏการณ์ในลักษณะเช่นเดียวกันนี้ สามารถเกิดขึ้นได้ในกรณีระหว่างอิเล็กตรอนและโพซิตรอน

วันที่ 17 กรกฎาคม 2554

วันนี้เป็นวันอาทิตย์ ซึ่งไม่มีโปรแกรมอะไร

ผมตื่นเช้าขึ้นมา ตอนแรกผมตั้งใจจะอ่านหนังสือที่ซื้อมาต่อจากเมื่อวานนี้ แต่เพื่อนชาวบัลแกเรียส่งอีเมล์มาบอกให้ไปทำงานกลุ่ม ผมจึงใช้เวลาช่วงเช้า (10.00-12.00 น.) ไปกับการทำงานกลุ่ม

ตอนบ่าย Mick พาครูที่สนใจ (รวมถึงผมด้วย) ไปเยี่ยมชม Booster, PS, LINAC [ดูแผนภาพข้างล่างประกอบ]



ภาพที่ 43 แสดงแผนภาพของเครื่องเร่งอนุภาคของเซิร์น

ที่มา: http://public.web.cern.ch/public/en/Research/AccelComplex-en.html

Mick ให้ข้อมูลว่า โปรตอนที่ถูกเร่งให้ชนกันใน LHC นั้น จะถูกเร่งในเครื่องเร่งแบบทางตรงก่อน (ซึ่งในที่นี้คือ LINAC2) จนกระทั่ง โปรตอนมีพลังงานประมาณ 50 MeV จากนั้น โปรตอนจะถูกส่งไปยัง Booster, Proton Synchrotron (PS), Super Proton Synchrotron (SPS) ซึ่งเป็นเครื่องเร่งอนุภาคแบบวงกลม จนกระทั่งโปรตอนมีพลังงานประมาณ 1.4 GeV, 26 GeV, และ 450 GeV ตามลำดับ เมื่อโปรตอนมีพลังงานประมาณ 450 GeV แล้ว โปรตอนจะถูกส่งไปยัง LHC เพื่อเร่งให้มีพลังงานประมาณ 7 TeV ก่อนที่จะถูกบังคับให้ชนกันที่เครื่องตรวจวัดอนุภาคต่างๆ (เช่น ALICE, ATLAS, LHCb, และ CMS) ต่อไป Mick ให้ข้อมูลด้วยว่า สาเหตุที่เซิร์นใช้เครื่องเร่งอนุภาคหลายตัว (ทั้งๆ ที่ในทางทฤษฎีแล้ว การเร่งโปรตอนสามารถทำได้โดยใช้เครื่องเร่งเพียงเครื่องเดียว) ทั้งนี้เพราะเซิร์นต้องการใช้เครื่องเร่งอนุภาคทุกตัวอย่างคุ้มค่า ซึ่งบางตัวมีอายุการใช้งานกว่า 50 ปีแล้ว [เครื่องเร่งอนุภาคทั้งหมดไม่ได้ถูกสร้างพร้อมกันทีเดียว หากแต่เซิร์นค่อยๆ สร้างเครื่องเร่งอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้นๆ ตามความต้องการระดับพลังงานของโปรตอนที่เพิ่มขึ้น] นอกจากเครื่องเร่งอนุภาคโปรตอนและเครื่องตรวจวัดอนุภาคที่กล่าวมาแล้ว ในบริเวณรอบๆ LHC ยังมีเครื่องอื่นๆ อีก ทั้งนี้เพราะเซิร์นไม่ได้ศึกษาการชนของอนุภาคโปรตอนที่ระดับพลังงานสูงเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ตัวอย่างเช่น ...

AD (หรือ Anti-proton Decelerator) เป็นเครื่องที่ลดความเร็วของอนุภาคแอนติโปรตอนซึ่งเกิดจากการชนของอนุภาคโปรตอนกับเป้า ทั้งนี้เพื่อศึกษาพฤติกรรมของอนุภาคแอนติโปรตอน (เนื่องอนุภาคโปรตอนที่พุ่งชนเป้านั้นมีความเร็วสูงมาก ทำให้อนุภาคแอนติโปรตอนที่ได้จากการชนมีความเร็วสูงด้วย การศึกษาพฤติกรรมของอนุภาคแอนติโปรตอนที่ความเร็วสูงทำได้ไม่สะดวก จึงต้องมี

การลดความเร็วของอนุภาคแอนติโปรตอนลง) CNGS (หรือ CERN Neutrinos to Gran Sasso) เป็นท่อที่ใช้ศึกษาเกี่ยวกับอนุภาคนิวตริโน ซึ่งเชื่อมโยงกับห้องทดลองที่ประเทศอิตาลี

การเยี่ยมชมเต็มไปด้วยความตื่นเต้น ท่ามกลางความหนาวเย็นของฝนที่ตกมาตั้งแต่ตอนเช้า อาการป่วยของผม (ซึ่งตอนแรกทำท่าว่าจะดีขึ้น) จึงทรงตัวอยู่

วันที่ 18 กรกฎาคม 2554

วันนี้เป็นวันที่สิบเอ็ดของการอบรม โปรแกรมมีดังนี้

9.00-11.30 น. Perimeter Institute Workshop
13.00-15.30 น. Perimeter Institute Workshop
19.00-0.00 น. International Evening

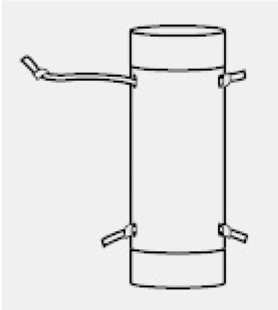
ก่อนอื่น ผมต้องให้ข้อมูลก่อนว่า กิจกรรมการอบรมในวันนี้ไม่ใช่กิจกรรมของเซิร์น แต่เป็นกิจกรรมที่ของสถาบันจากประเทศแคนาดาที่มีชื่อว่า Perimeter Institute for Theoretical Physics สถาบันที่ว่านี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อส่งเสริมการวิจัยและการเรียนรู้ฟิสิกส์ทฤษฎี วิทยากรในวันนี้มี 2 คน คือ Greg Dick และ Dave Fish

กิจกรรมการอบรมแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงเช้า และช่วงบ่าย ซึ่งมีลำดับดังนี้

Welcome
Science & Models
Quantum
พักเที่ยง
Dark Matter
Revolution in Science

ช่วง Welcome เป็นการนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับ Perimeter Institute for Theoretical Physics ซึ่งมีผู้ก่อตั้งเป็นคนเดียวกับผู้ก่อตั้งบริษัท Research in Motion หรือ RIM (บริษัทผู้ผลิตโทรศัพท์ BlackBerry) นั่นคือ Mike Lazaridis (ดังนั้น สื่อการบรรยาย และ/หรือ สื่อการสอนที่จัดทำโดยสถาบันนี้อาจมีภาพโทรศัพท์ BlackBerry อยู่ประปราย)

ช่วง Science & Models เป็นกิจกรรมที่ชื่อว่า Black Box Demonstration (ดูเพิ่มเติม) วิทยากรแสดงกล่องรูปทรงกระบอกสีดำ ซึ่งมีเชือกโผล่ออกมา 4 ด้าน (ดังรูปข้างล่าง)



ภาพที่ 44 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในกิจกรรม Black Box Demonstration

ที่มา: http://www.perimeterinstitute.ca/images/perimeter_explorations/quantum_reality/pg07_blackbox_img01.jpg

เมื่อเราดึงเชือกด้านซ้ายบน เชือกด้านขวาบนจะหดเข้าไปในกล่อง ขณะที่เมื่อเราดึงเชือกขวาบน เชือกด้านซ้ายบนก็จะหดเข้าไปในกล่องเช่นกัน เหตุการณ์นี้ทำให้หลายคนคิด (เอาเอง) ว่า เชือกด้านซ้ายบนกับเชือกด้านขวาบนเป็นเชือกเส้นเดียวกัน (และเชือกด้านซ้ายล่างกับเชือกด้านขวาล่างเป็นเชือกเส้นเดียวกัน) อย่างไรก็ตาม เมื่อเราดึงเชือกด้านล่างขวา เชือกด้านบนซ้ายกลับหดเข้าไปในกล่องด้วย วิทยากรให้เรา (ผู้เข้ารับการอบรม) ลองวาด “แบบจำลอง” ที่แสดงถึงสิ่งที่อยู่ในกล่อง ที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์การดึงเชือกที่เกิดขึ้นได้ ผู้เข้ารับการอบรมเสนอแบบจำลองมากมายเลยครับ

จากนั้น วิทยากรเน้นว่า กิจกรรมทางวิทยาศาสร์ก็คือการสร้างแบบจำลองปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ที่เรา (มนุษย์) สามารถสังเกตได้ เพื่อให้เราทราบถึงกลไกการทำงานของธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม เราไม่สามารถรู้ได้อย่างแน่นอนว่า แท้จริงแล้วธรรมชาติมีกลไกการทำงานอย่างไร (เหมือนกับการที่เราไม่สามารถเปิดกล่องออกดูได้) เราเพียงพัฒนาแบบจำลองนั้นให้สอดคล้องกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ (ที่เราสังเกตได้) ให้ใกล้เคียงที่สุด กิจกรรมนี้สามารถนำไปใช้สอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ได้ (ดูเพิ่มเติม)

กิจกรรม Quantum เป็นกิจกรรม ที่มีวัตถุประสงค์ให้นักเรียนเข้าใจหลักการพื้นฐานหนึ่งของฟิสิกส์ควอนตัม นั่นคือ ทวิภาพของคลื่นและอนุภาค (Particle-Wave Duality) (ดูรายละเอียดของกิจกรรม) กิจกรรมมีหลายตอนครับ ในตอนแรก วิทยากรให้เรา (ผู้เข้ารับการอบรม) เททรายละเอียดลงในแก้ว ซึ่งมีการเจาะรูไว้ที่ก้นแก้ว 2 รู (ดูรูปข้างล่าง)

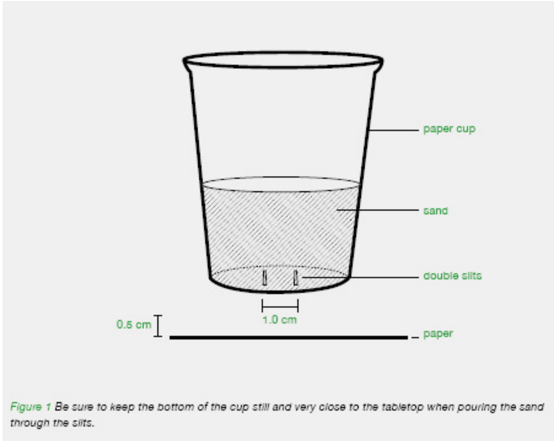


Figure 1 Be sure to keep the bottom of the cup still and very close to the tabletop when pouring the sand through the slits.

ภาพที่ 45 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในกิจกรรม Quantum

ที่มา: http://www.perimeterinstitute.ca/images/perimeter_explorations/quantum_reality/pg14_worksheet05_img01.jpg

เมื่อเราเททรายแล้ว วิทยากรให้เราสังเกตรูปแบบของทรายที่รั่วออกมาจากก้นแก้ว และอธิบายถึงสาเหตุของการเกิดรูปแบบที่ได้ ในการนี้ วิทยากรต้องการเสนอว่า เม็ดทรายไม่สามารถออกจากรูพร้อมกันได้ นั่นคือ อนุภาค 2 อนุภาคไม่สามารถอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันในเวลาเดียวกันได้ (Localization)

จากนั้นเป็นกิจกรรมตอนที่สอง วิทยากรมีแผ่นใสรูปคลื่นให้ 2 แผ่น และให้เรานำยึดปลายของแผ่นใสทั้งสองไว้ที่ตำแหน่ง 2 ตำแหน่งที่ห่างกันประมาณหนึ่ง แล้วให้เรานำปลายอีกด้านหนึ่งของแผ่นใส่ทั้งสองมาวางทาบกัน เพื่อดูว่า ณ ตำแหน่งต่างๆ คลื่น (ในแผ่นใส) ทั้งสองจะเกิดการแทรกสอดแบบเสริมหรือหักล้างกัน (ดูภาพข้างล่าง) วิทยากรต้องการเสนอว่า คลื่น 2 คลื่นสามารถเกิดขึ้นในตำแหน่งเดียวกันและในเวลาเดียวกันได้ (Superposition)

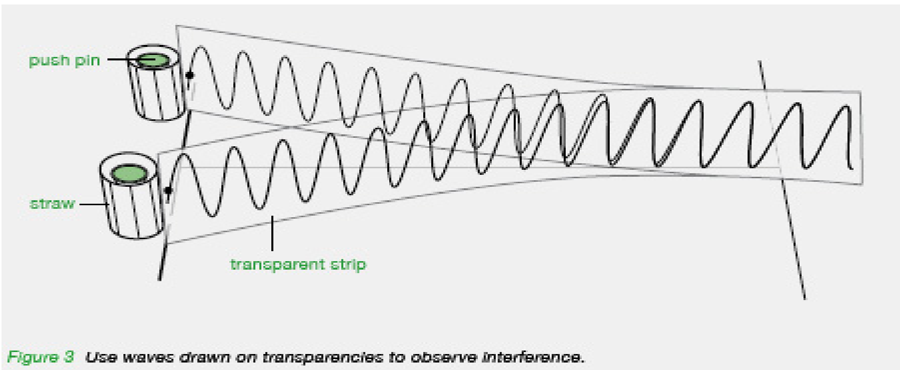


Figure 3 Use waves drawn on transparencies to observe interference.

ภาพที่ 46 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในกิจกรรม Quantum

ที่มา: http://www.perimeterinstitute.ca/images/perimeter_explorations/quantum_reality/pg15_worksheet05_img02.jpg

จากนั้น วิทยากรเปิดวีดีทัศน์ ซึ่งแสดงรูปแบบการแทรกสอดของอิเล็กตรอน เมื่อถูกยิงผ่านสลิตคู่ ก่อนที่จะถามว่า อิเล็กตรอนเป็นอนุภาคหรือเป็นคลื่น จากนั้นเป็นการอภิปรายเกี่ยวกับทวิภาพของคลื่นและอนุภาค นั่นก็คือ สมการของเดอบรอยล์นั่นเอง

ช่วงบ่ายเป็นการอบรมเรื่อง Dark Matter โดยวิทยากรให้เรา (ผู้เข้ารับการอบรม) ทดลองเรื่องการเคลื่อนที่แบบวงกลม (ดูรายละเอียด) เพื่อทดลองว่า มวลที่ใช้ถ่วงเชือกที่ใช้แกว่งวัตถุ (ที่กำลังเคลื่อนที่เป็นวงกลม) สามารถส่งผลต่ออัตราเร็วของวัตถุ

จากนั้น วิทยากรนำหลอดไฟเล็กไปติดกับวัตถุ แล้วเปรียบวัตถุเป็นดาวฤกษ์ วิทยากรให้ข้อมูลว่า สเปกตรัมของแสงของดาวฤกษ์ที่กำลังเคลื่อนที่จะแตกต่างไป (จากสเปกตรัมของแสงจากดาวฤกษ์เดียวกันที่อยู่นิ่ง) การศึกษาสเปกตรัมของดาวฤกษ์จึงบอกถึงอัตราเร็วของการโคจรของดาวฤกษ์ ซึ่งสัมพันธ์กับแรงที่กระทำกับดาวฤกษ์นั้น (แรงนั้นจะสัมพันธ์กับมวลอีกทีหนึ่ง) วิทยากรต้องการเชื่อมโยงไปว่า การสังเกตสเปกตรัมของแสงของวัตถุที่กำลังโคจรอยู่ในจักรวาล บอกให้เราทราบว่าน่าจะมีมวลอะไรบางอย่างในจักรวาล ที่ส่งผลต่ออัตราเร็วของการโคจรของวัตถุ และนั่นเป็นที่มาของความคิดที่ว่า จักรวาลของเราประกอบด้วยสสารมืด (Dark matter) [ผมขอสารภาพว่า ผมไม่ค่อยเข้าใจการบรรยายของวิทยากรเท่าไหร่]

จากนั้นเป็นการอบรมเรื่อง Revolution in Science ซึ่งมีวัตถุประสงค์ให้นักเรียนเข้าใจทฤษฎีสัมพันธภาพของไอน์สไตน์ โดยใช้ลูกบอลพลาสติกใส [ผมไม่เข้าใจการบรรยายเลยครับ แต่ผมจะไปศึกษาเอกสารอีกครั้ง]

ช่วงเย็นเป็น International Evening ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ผมกังวลที่สุด เพราะผมต้องสาธิตการไหว้ครูมวยไทย และการชกมวยไทย แม้ว่านี่เป็นการไหว้ครูมวยไทยครั้งแรกในชีวิต แต่เหตุการณ์ก็ผ่านไปได้ด้วยดีครับ มีคนชมและขอถ่ายรูปเยอะแยะเลย ผมได้แต่ภาวนาว่า คงไม่มีใครเอารูปผมไปแสดงในอินเตอร์เน็ต แม้ว่าสิ่งที่ผมทำไม่ใช่เรื่องน่าอายอะไร แต่ผมก็อดเขินไม่ได้ เมื่อเห็นตัวเองอยู่ในชุดมวยไทย

วันที่ 19 กรกฎาคม 2554

วันนี้เป็นการอบรมวันที่สิบสอง โปรแกรมมีดังนี้

15.00-16.00 น. Let’s Talk about Books
16.00-17.00 น. CERN’s Black Swan

ช่วงเช้าเป็นเวลาที่ไม่มีโปรแกรมใดๆ ผมจึงนัดกับเพื่อนๆ ทำกิจกรรมกลุ่มตั้งแต่เวลา 10.00-13.00 น.

ช่วงบ่ายเป็นกิจกรรมที่มีชื่อว่า Let's Talk about Books ชื่อกิจกรรมทำให้ผมเข้าใจผิดนิดหน่อย ผมเข้าใจผิดไปว่า จะมีตัวแทนจำหน่ายหนังสือเกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาคมาเสนอขายหนังสือ ผมจึงเตรียมเงินไปพอสมควร เผื่อว่าจะเจอหนังสือถูกใจ ตรงกันข้าม กิจกรรมนี้เป็นการระดมสมองของครูที่เข้ารับการอบรม เพื่อระบุชื่อหนังสือฟิสิกส์ (ไม่จำเป็นต้องเป็นฟิสิกส์อนุภาค) ที่ดี [ไม่มีการนิยามนะครับ ว่า "หนังสือที่ดี" ในที่นี้เป็นอย่างไร] ผมไม่สามารถจดชื่อหนังสือทั้งหมดได้ แต่มีหนังสือบางเล่มที่ผมเคยอ่านมาก่อน (เช่น Conceptual Physics ของ Paul Hewitt) และบางเล่มที่ผมไม่รู้จักมาก่อน (เช่น New Understanding for Advanced Level ของ Jim Breithaupt) กิจกรรมนี้ทำให้ผมทราบด้วยว่า มีการสอนฟิสิกส์อนุภาคในระดับมัธยมศึกษาแล้วในบางประเทศ เช่น ครูลิลลี่จากรัฐแคลิฟอร์เนียบอกว่า มีการสอนฟิสิกส์อนุภาคที่โรงเรียนของเธอมากว่า 3 ปีแล้ว

จากนั้นเป็นช่วง CERN's Black Swan ซึ่งเป็นการบรรยายโดย Ben Segal เกี่ยวกับจุดกำเนิดของเวิลด์ไวด์เว็บ (World Wide Web) [ผมไม่ทราบที่มาของการตั้งชื่อกิจกรรมว่า CERN's Black Swan จริงๆ] เวิลด์ไวด์เว็บมีจุดกำเนิดที่เซิร์น ในปี ค.ศ. 1989 Tim Berners-Lee เขียนข้อเสนอ (Proposal) ในการจัดทำสิ่งที่ต่อมาได้กลายเป็นเวิลด์ไวด์เว็บ แก่ Mike Sandell หัวหน้าของเขาในขณะนั้น หลังจากอ่านข้อเสนอแล้ว Mike ลงความเห็นว่า ข้อเสนอของ Tim นั้น "คลุมเครือ แต่น่าตื่นเต้น" ในปี 1990 Tim ก็ได้รับการอนุมัติให้ทำตามข้อเสนอของเขา โดยได้ความร่วมมือจาก Robert Cailliau ในการนี้ ทั้งคู่ได้พัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ ที่เป็นพื้นฐานของเวิลด์ไวด์เว็บ เช่น HTML , HTTP, และ URL ขึ้น นอกจากนี้ Ben Segal ยังได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการพัฒนาเทคโนโลยีที่เรียกว่า Grid [ผมไม่ค่อยเข้าใจหลักการที่ว่านี้เท่าไหร่ครับ]

หลังจากการฟังบรรยายเสร็จ ผมและเพื่อนๆ มานั่งทำงานกลุ่มกันต่อจนถึงเวลา 22.00 น.

วันที่ 20 กรกฎาคม 2554

วันนี้เป็นการอบรมวันที่สิบสาม โปรแกรมมีดังนี้

15.30-16.30 น. Gaugin and CERN
18.15-23.00 น. Jura Pic-Nic

ช่วงเช้าเป็นการทำงานกลุ่มครับ

ในระหว่างนี้ เวลา 11.30-12.30 น. มีการบรรยายประวัติความคิดของนักวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับจักรวาลและอนุภาคมูลฐาน โดย Goron ซึ่งเป็นการบรรยายต่อจากการบรรยายเมื่อวันที่ 13

กรกฎาคม 2554 ผมไม่ค่อยเข้าใจเนื้อหาการบรรยายเท่าไหร่ เพราะมีคำศัพท์เชิงปรัชญามากมาย (คำที่ลงท้ายด้วยคำว่า -ism) ผมจับประเด็นได้เพียงว่า ในช่วงเวลาตั้งแต่ยุคของอริสโตเติลเป็นต้นมา การทดลองค่อยๆ มีบทบาทมากขึ้นในการได้มาซึ่งความรู้ (จากเดิมที่เน้นการใช้เหตุผลทางตรรกะ) ผมใช้เวลาช่วงพักเที่ยงไปเลือกซื้อหนังสือที่ห้องสมุด หลังจากที่เล็งไว้หลายวัน ผมตัดสินใจซื้อหนังสือเพิ่มอีก 2 เล่ม คือ:

The Large Hadron Collider: Unraveling the Mysteries of the Universe โดย Martin Beech

A Zeptospce Odyssey: A Journey into the Physics of the LHC โดย Gain Francesco Giudice

ผมเลือกซื้อหนังสือที่ไม่มีสมการที่ซับซ้อน เพื่อที่ผมจะได้แนวทางไปใช้สอนฟิสิกส์อนุภาคในระดับมัธยมปลาย

ช่วงบ่ายเป็นการบรรยายเรื่อง Gaugin and CERN โดย Jonathan R. Ellis เนื้อหาการบรรยายเกี่ยวกับวิสัยทัศน์ของเซิร์น 4 ข้อ นั่นคือ 1) พัฒนาองค์ความรู้ใหม่ 2) สร้างสรรค์เทคโนโลยีใหม่ 3) พัฒนานักวิทยาศาสตร์และวิศวกรรุ่นใหม่ และ 4) หลอมรวมผู้คนจากหลายชนชาติและวัฒนธรรม [เนื้อหาการบรรยายในบางส่วน ซ้ำซ้อนกับเนื้อหาการบรรยายอื่นๆ ก่อนหน้านี้ ผู้เข้าฟังการบรรยายจึงสนใจที่มาที่ไปของ "แผนภาพเพนกวิน" (Penguin diagram) มากกว่า]

เนื่องจากสภาพอากาศในช่วงเย็นไม่เหมาะสมกับการปิคนิค Mick จึงพาพวกเรา (ครูที่เข้ารับการอบรม) ไปเยี่ยมชมห้องปฏิบัติการทดสอบแม่เหล็กตัวนำยิ่งยวด (Superconducting magnet) และศูนย์ควบคุมของเซิร์น (CERN Control Centre) ที่แรกเป็นที่สำหรับตรวจสอบประสิทธิภาพของแม่เหล็ก ที่ใช้ควบคุมลำอนุภาคโปรตอนใน LHC ส่วนที่หลังเป็นที่ควบคุมการทำงานของ Proton Synchrotron (PS), Super Proton Synchrotron (SPS), the Large Hadron Collider (LHC), และงานด้านเทคนิคอื่นๆ

พวกเรากลับจากการเยี่ยมชมสถานที่ดังกล่าวประมาณ 3 ทุ่มครึ่ง (ด้วยความหิว) จากนั้น มีการฉลองวันคล้ายวันเกิดย้อนหลังให้แก่ Goron ต่ออีกนิดหน่อย [วันคล้ายวันเกิดของ Goron คือเมื่อวานนี้ ซึ่งไม่น่าเชื่อว่า Mick จะลืมวันคล้ายวันเกิดของเพื่อนตัวเอง]

ผมและสมาชิกในกลุ่มนั่งทำงานต่อจนกระทั่งเกือบ 5 ทุ่ม ก่อนแยกย้ายกันไปพักผ่อน

วันที่ 21 กรกฎาคม 2554

วันนี้เป็นวันที่สิบสี่ของการอบรม ซึ่งไม่มีโปรแกรมอะไรเลย ดังนั้น ผมและสมาชิกในกลุ่มจึงนัดกันไปทำงานตั้งแต่ 9.00-12.00 น.

หลังจากพักรับประทานอาหารเที่ยง น้องอ๊อฟชักชวนให้น้องนักศึกษา (น้องนิ๊กและน้องข้น) ไปคุยกับอาจารย์จากมหาวิทยาลัยบราวน์ (Brown University) เพื่อทราบแนวทางการศึกษาต่อ ผมและปุ๊จึงขอติดสอยห้อยตามไปฟังด้วย อาจารย์จากมหาวิทยาลัยบราวน์ (ซึ่งผมไม่ทราบชื่อจริงๆ) ให้ข้อมูลเกี่ยวกับงานวิจัยทางฟิสิกส์อนุภาคที่มหาวิทยาลัยบราวน์กำลังทำอยู่ เช่น การพัฒนาระบบทริกเกอร์ [ระบบทริกเกอร์เป็นระบบที่ควบคุมการเลือกบันทึกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นหลังจากการชนกันของอนุภาคโปรตอนเพื่อนำไปวิเคราะห์ในภายหลัง] และการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่ใช้ในเครื่องตรวจวัดอนุภาค ผมฟังอาจารย์พูดไม่ทันจบ เพราะ Mick ได้แจ้งว่า จะมีการบรรยายพิเศษเกี่ยวกับห้องเรียนมาสเตอร์ (Masterclass) ซึ่งเป็นโครงการทางการศึกษาของเซิร์น ในเวลา 14.30 น. วิทยากรที่มาบรรยายห้องเรียนมาสเตอร์ชื่อว่า Konrad Jende เขาให้ข้อมูลว่า การจัดห้องเรียนมาสเตอร์เริ่มมีขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1997 โดยมีวัตถุประสงค์คือ เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนที่มีอายุระหว่าง 15-19 ปี สนใจงานวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาค ในการนี้ นักเรียนจะได้รับประสบการณ์ตรงในการทำงานวิจัยฟิสิกส์อนุภาคจากนักวิทยาศาสตร์ของเซิร์น กิจกรรมของห้องเรียนมาสเตอร์ใช้เวลา 1 วัน โดยช่วงเช้าเป็นการบรรยายข้อมูลพื้นฐานต่างๆ ก่อนที่นักเรียนจะได้ลองวิเคราะห์ข้อมูลจริงๆ ในช่วงบ่าย หลังจากนั้น นักเรียนจะนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มารวมกัน เพื่ออภิปรายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจากการชนกันของอนุภาค [ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ที่ http://www.physicsmasterclasses.org/ และ http://kjende.web.cern.ch/kjende/en/index.htm]

จากนั้นเป็นการนำเสนอผลงานของกลุ่มที่เสร็จแล้ว ซึ่งมี 3 กลุ่มด้วยกัน [ผลงานทั้งหมดจะได้รับการเผยแพร่ที่ http://teachers.web.cern.ch/teachers/ ในภายหลังครับ]

ช่วงค่ำเป็นการบรรยายเกี่ยวกับพัฒนาการทางความคิดของนักวิทยาศาสตร์ โดย Goron ในการบรรยายครั้งนี้ Goron บอกว่า การมาของควอนตัมฟิสิกส์ทำให้นักวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันเน้น Complementarity ในตอนแรก ผมฟัง Goron ไม่ค่อยเข้าใจเท่าไร แต่ขอคัดลอกคำบรยายจาก Wikipedia มาดังนี้ครับ:

> The complementarity principle states that some objects have multiple properties that appear to be contradictory. Sometimes it is possible to switch back and forth between different views of an object to observe these

properties, but in principle, it is impossible to view both at the same time, despite their simultaneous coexistence in reality.

จากข้อความข้างต้น ผมเข้าใจ Complementarity ว่าเป็น การนำมุมมอง–หรือทฤษฎี–ที่แตกต่าง (หรือขัดแย้ง) กันมาบรรยายปรากฏการณ์เดียวกันให้สมบูรณ์มากขึ้น เช่น การพิจารณาว่าอิเล็กตรอน (และอนุภาคอื่นๆ) สามารถแสดงได้ทั้งสมบัติของคลื่นและของอนุภาค ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติของอิเล็กตรอนที่เราต้องการศึกษา และวิธีการที่ใช้ในการศึกษาสมบัตินั้น

วันที่ 22 กรกฎาคม 2554

วันนี้เป็นวันสุดท้ายของการอบรม โปรแกรมของวันนี้คือการนำเสนอผลงานของแต่ละกลุ่ม และงานเลี้ยงบาร์บีคิวในตอนค่ำ

วันนี้ ผมและปุ๊โชคดีมากๆ เพราะในระหว่างทานอาหารเช้าที่โรงอาหาร เราได้พบกับ Jake Steinberger ซึ่งกำลังนั่งดื่มกาแฟอยู่ที่โรงอาหาร บุคคลผู้นี้ (ร่วมกับเพื่อนของเขาอีก 2 คน) ได้ค้นพบมิวออนนิวตริโนในปี ค.ศ. 1962 ทำให้เขาได้รับรางวัลโนเบลในปี ค.ศ. 1988 [อันที่จริงเขามาทานอาหารที่โรงอาหารบ่อยๆ แต่ก่อนหน้านี้ เราไม่รู้ว่าเขาคือใคร]

การนำเสนอผลงานเริ่มตั้งแต่เช้าจนถึงเย็น [ผลงานทั้งหมดจะถูกเผยแพร่ที่ http://teachers.web.cern.ch/teachers/] กลุ่มของผมนำเสนอในช่วงบ่าย ซึ่งครูลิลลี่เป็นผู้นำเสนอผลงาน ผลงานของกลุ่มของผมคือ การจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะ (Inquiry-based instruction) เรื่อง การอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า โมเมนตัม และพลังงาน โดยการวิเคราะห์ภาพถ่ายที่ได้จาก Bubble chamber

ช่วงค่ำเป็นการเลี้ยงส่ง ซึ่งมีการร้องเพลงเต้นรำ และการแลกเปลี่ยนของที่ระลึก การเลี้ยงส่งเป็นไปอย่างสนุกสนาน Mick บอกว่า... “We won’t say ‘Good bye’ but we’ll say ‘See you later.’” การอบรมจึงปิดฉากลงด้วยความประทับใจ

วันที่ 23 และ 24 กรกฎาคม 2554

ผมเขียนบันทึกนี้ช้าไปหลายวัน (ผมเขียนบันทึกนี้ในวันที่ 29 กรกฎาคม 2554) หลังจากการอบรมเสร็จสิ้นในวันที่ 22 กรกฎาคม 2554 เช้าวันรุ่งขึ้น ผม ปุ๊ และน้องนุ๊กนิ๊ก ชวนกันออกไปซื้อของฝากกลับประเทศไทย เราเดินไปรอบๆ เมืองเจนีวา จนกระทั่งน้องอ๊อฟตามมาสมทบในตอนเที่ยง ผมซื้อช็อกโกแลต น้ำหอม และมีดพับสวิส

ช่วงบ่ายน้องเก่งมาสมทบอีกคนหนึ่ง เราเดินทางไปรับประทานอาหารเย็นที่ร้านอาหารไทยร้านหนึ่ง ก่อนที่น้องข้นพาเพื่อนชาวฝรั่งเศสมาร่วมรับประทานอาหารด้วย

หลังจากนั้น เราเดินทางกลับที่พัก ในระหว่างนี้เอง เหตุการณ์ระทึกขวัญก็เกิดขึ้น เมื่อมีวัยรุ่นกลุ่มหนึ่งเดินเข้ามาหาเรา คนหนึ่งในนั้นคว้ามือน้องอ๊อฟ และพยายามดึงโทรศัพท์ไอโฟนที่น้องอ๊อฟถืออยู่ ในขณะที่ผมกำลังงงอยู่กับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น [ในตอนแรก ผมคิดว่าน้องอ๊อฟเจอเพื่อนโดยบังเอิญ] น้องนุ๊กนิ๊กก็ส่งเสียงกรีดร้อง ตามมาด้วยเสียงโวยวายของน้องอ๊อฟเอง วัยรุ่นกลุ่มนี้คงเห็นว่าสถานการณ์ไม่เป็นใจ [หรือพวกเขาอาจจะไม่ชอบเสียงดัง] จึงรีบวิ่งหนีไป ตามด้วยเสียงสบถชุดใหญ่ของพวกเรา โชคดีว่า ไม่มีใครสูญเสียทรัพย์สินใดๆ แต่เหตุการณ์นี้ทำเอาทุกคนตกใจกันพอสมควร ตั้งแต่ผมเกิดมา ผมไม่เคยเจอการชิงทรัพย์กันซึ่งหน้าแบบนี้ ผมเล่าเหตุการณ์นี้ไว้เป็นอุทาหรณ์แก่คนที่จะมาเมืองเจนีวา โดยเฉพาะนักศึกษาและครูที่จะมาเซิร์นในปีหน้า

ในวันที่ 24 กรกฎาคม 2554 ซึ่งเป็นวันเดินทางกลับของผมและปุ๊ เราตื่นมาเก็บของตั้งแต่เช้าก่อนที่น้องข้นจะมาหาที่ห้องเพื่อขอสำเนาภาพที่ผมถ่ายไว้ เราลงไปแจ้งชื่อออกจากที่พักประมาณ 11.00 น. ก่อนไปเจอน้องอ๊อฟและน้องนุ๊กนิ๊กที่โรงอาหาร เนื่องจากเวลาเดินทางของผมและปุ๊คือ 20.05 น. เราจึงตัดสินใจไปในเที่ยวในเมืองเจนีวาอีกครั้ง คราวนี้เราไปสถานที่ใกล้ๆ นั่นคือ เก้าอี้ขาหัก (Broken Chair) และพิพิธภัณฑ์เครื่องเซรามิก (Ariana) เราไปรับประทานอาหารกันที่สนามบินโดยมีน้องๆ ไปส่ง [แม้ว่าไม่ได้มาร่วมในงานนี้ แต่น้องเก่งได้โทรศัพท์มาหา]

ผมขอใช้พื้นที่ตรงนี้ เพื่อแสดงความขอบคุณ น้องอ๊อฟ น้องเก่ง น้องข้น และน้องนุ๊กนิ๊กสำหรับการช่วยเหลือหลายๆอย่าง ตลอดช่วงเวลาที่ผมอยู่เซิร์น ขอบคุณด้วยความจริงใจครับ

บรรณานุกรม

- กระทรวงศึกษาธิการ. (2551). **หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551**. (ออนไลน์). เข้าถึงได้ที่: http://www.curriculum51.net/upload/cur-51.pdf. (6 กันยายน 2551).
- บุรินทร์ อัศวพิภพ และ นรพัทธ์ ศรีมโนภาษ. (2552). **เจาะเซิร์น**. (พิมพ์ครั้งที่ 2). สำนักพิมพ์สารคดี: กรุงเทพฯ.
- บัญญัติ ชำนาญกิจ. (2550). วัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5Es. **วารสารวิชาการบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์**, 2(4), 1-10.
- ประมวล ศิริผันแก้ว. (ไม่ระบุปี). **การจัดการเรียนการสอนที่ยึดแนวทางการสืบเสาะหาความรู้**. (ออนไลน์). เข้าถึงได้ที่: http://www3.ipst.ac.th/stat/assets//journal/j02_7Jan.pdf (28 สิงหาคม 2554).
- พจนา มะกรูดอินทร์. (ไม่ระบุปี). **การเรียนรู้โดยการสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน**. (ออนไลน์). เข้าถึงได้ที่: http://pirun.ku.ac.th/~g4986066/poj.pdf (28 สิงหาคม 2554).
- สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน). (2553). **รายงานประจำปีการเข้าร่วมกิจกรรมโครงการนักศึกษาและครูสอนฟิสิกส์ภาคฤดูร้อนเซิร์น**. (ออนไลน์). เข้าถึงได้ที่: http://www.slri.or.th/th/index.php?option=com_attachments&task=download&id=368 (1 สิงหาคม 2554)
- Baine, T. (2007). **Antimatter Teaching Module**. (Online). Available at: http://education.web.cern.ch/education/Chapter2/Teaching/atm.html. (6 September 2011).
- Beech, M. (2010). **The Large Hadron Collider: Unraveling the Mysteries of the Universe**. Springer: London.
- CERN. (1999a). **Magnets for the Large Hadron Collider**. (Online). Available at: http://lhc.web.cern.ch/lhc/general/magnets.htm. (25 August 2011).
- CERN. (1999b). **The CERN Hadron Ion Sources**. (Online). Available at: http://linac2.home.cern.ch/linac2/sources/source.htm. (26 August 2011).
- CERN. (2007a). **LHC Game**. (Online). Available at: http://microcosm.web.cern.ch/microcosm/LHCGame/LHCGame.html. (6 September 2011).

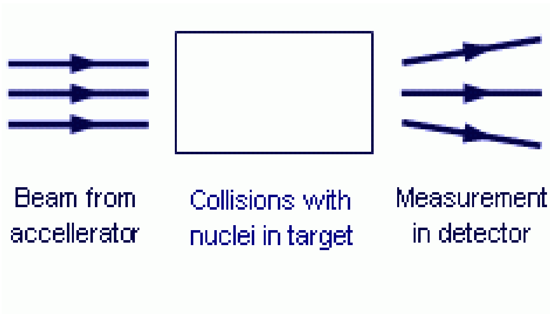
- CERN. (2007b). **RF Cavity**. (Online). Available at: http://microcosm.web.cern.ch/Microcosm/RF_cavity/ex.html. (6 September 2011).
- CERN. (2008a). **CERN – A Global Endeavour**. (Online). Available at: http://public.web.cern.ch/public/en/about/global-en.html. (August 01, 2011).
- CERN. (2008b). **CERN History Highlights 1954**. (Online). Available at: http://public.web.cern.ch/public/en/about/History54-en.html (August 08, 2011)
- CERN. (2010). **CERN FAQ: LHC the Guide**. CERN Communication Group: Geneva.
- CERN. (2011a). **Annual Report 2010**. CERN Communication Group: Geneva.
- CERN. (2011b). **CERN Document Server: Videos**. (Online). Available at: http://cdsweb.cern.ch/search?cc=Videos&jrec=1&p=lhc. (6 September 2011).
- CERN. (2011c). **High School Teachers at CERN**. (Online). Available at: http://teachers.web.cern.ch/teachers/default.htm (August 01, 2011).
- Deferne, J. (2010). **The Amazing World of Atoms**. (Online). Available at: http://www.kasuku.ch/pdf/monde_etrange_atomes/EN_amazing_world_atoms .pdf. (6 September 2011).
- Dosanjh, M. (2011). **From Particle Physics to Health**. A Presentation at the 2011 CERN: High School Physics Teacher Programme, 15 July 2011. CERN: Geneva.
- Duit, R. (1991). On the Role of Analogies and Metaphors in Learning Science. **Science Education**, 75(6), 649-672.
- Gagnon, M. (2011). A Bubble Chamber Simulator: A New Tool for the Physics Classroom. **Physics Education**, 46(4), 443-450.
- Gilardoni, S. (2011). **Introduction to Accelerators**. A Presentation at the 2011 CERN: High School Physics Teacher Programme, 11 July 2011. CERN: Geneva.
- Giudice, G. F. (2010). **A Zeptospace Odyssey: A Journey into the Physics of the LHC**. Oxford University Press: New York.
- Glynn, S. M. and Takahashi, T. (1998). Learning from Analogy-Enhanced Science Text. **Journal of Research in Science Teaching**, 35(10), 1129-1149.

- Harrison, A. G. and Treagust, D. F. (1993). Teaching with Analogies: A Case Study in Grade-10 Optics. **Journal of Research in Science Teaching**, 30(10), 1291-1307.
- Heuer, R. (2011). **Introduction to CERN**. A Presentation at the 2011 CERN: High School Physics Teacher Programme, 6 July 2011. CERN: Geneva.
- Jende, K. (2011). **Getting LHC Data to High School Students: The Masterclass Concept**. A Presentation at the 2011 CERN: High School Physics Teacher Programme, 21 July 2011. CERN: Geneva.
- Jones, G. T. (2002). The Uncertainty Principle, Virtual Particles and Real Forces. **Physics Education**, 37(3), 223-233.
- Jones, G. T. (2005). **Bubble Chambers Website**. (Online). Available at: http://teachers.web.cern.ch/teachers/archiv/HST2005/bubble_chambers/BCwebsite/index.htm. (27 August 2011).
- Landua, R. (2011). **Particle Physics and Cosmology in the 20th Century**. A Presentation at the 2011 CERN: High School Physics Teacher Programme, 5 July 2011. CERN: Geneva.
- Mangano, M. (2011). **Key Concepts of Particle Physics**. A Presentation at the 2011 CERN: High School Physics Teacher Programme, 11 July 2011. CERN: Geneva.
- Riordan, M. (1992). The Discovery of Quarks. **Science**, 256(23), 1287-1293.
- Segal, B. (2011a). **From the Web to the Grid**. A Presentation at the 2011 CERN: High School Physics Teacher Programme, 19 July 2011. CERN: Geneva.
- Segal, B. (2011b). **WWW@CERN: Its Creation, Its Success, Its Lessons – An Example of Innovation**. A Presentation at the 2011 CERN: High School Physics Teacher Programme, 19 July 2011. CERN: Geneva.
- Servant, G. (2011). **The Particle Physics-Cosmology Connection**. A Presentation at the 2011 CERN: High School Physics Teacher Programme, 11 July 2011. CERN: Geneva.
- Storr, M. (2011). **CERN Teacher Programmes: Inspiring the Next Generation of Scientists**. A Presentation at the 2011 CERN: High School Physics Teacher Programme, 4 July 2011. CERN: Geneva.

- The Particle Data Group. (2009a). **The Standard Model – What is Fundamental? – What Are We Looking for?** (Online). Available at: http://particleadventure.org/modern_physics.html (8 September 2011).
- The Particle Data Group. (2009b). **Unsolved Mysteries–Extra Dimensions**. (Online). Available at: http://www.particleadventure.org/extra_dim.html. (7 July 2011).
- Treagust, D. F., Harrison, A. G., and Venville, G. J. (1998). Teaching Science Effectively with Analogies: An Approach for Preservice and Inservice Teacher Education. **Journal of Science Teacher Education**, 9(2), 85-101.
- Wahrmund, S. (2011). **Hands on Particle Physics: International Masterclasses for High School Students**. (Online). Available at: http://www.physicsmasterclasses.org (28 August 2011).

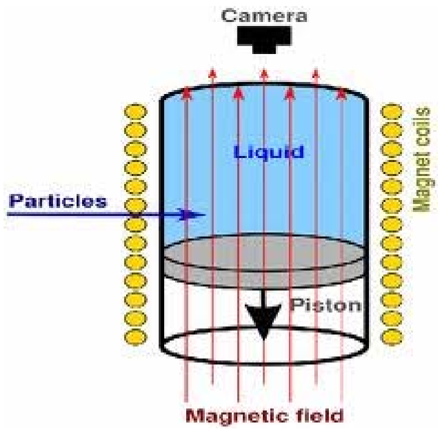
ภาคผนวก

What is particle physics?



The aim of particle physics is to study the fundamental building blocks of nature and the forces they exert on each other. A typical fixed target experiment consists of taking particles from a machine called an accelerator, colliding them with atomic nuclei in a target, and measuring what comes out in a machine called a detector (see scheme on left). The bubble chamber, which served particle physics well for about 40 years, playing a crucial part in establishing the model, is special because it is both target and detector.

How a bubble chamber works:

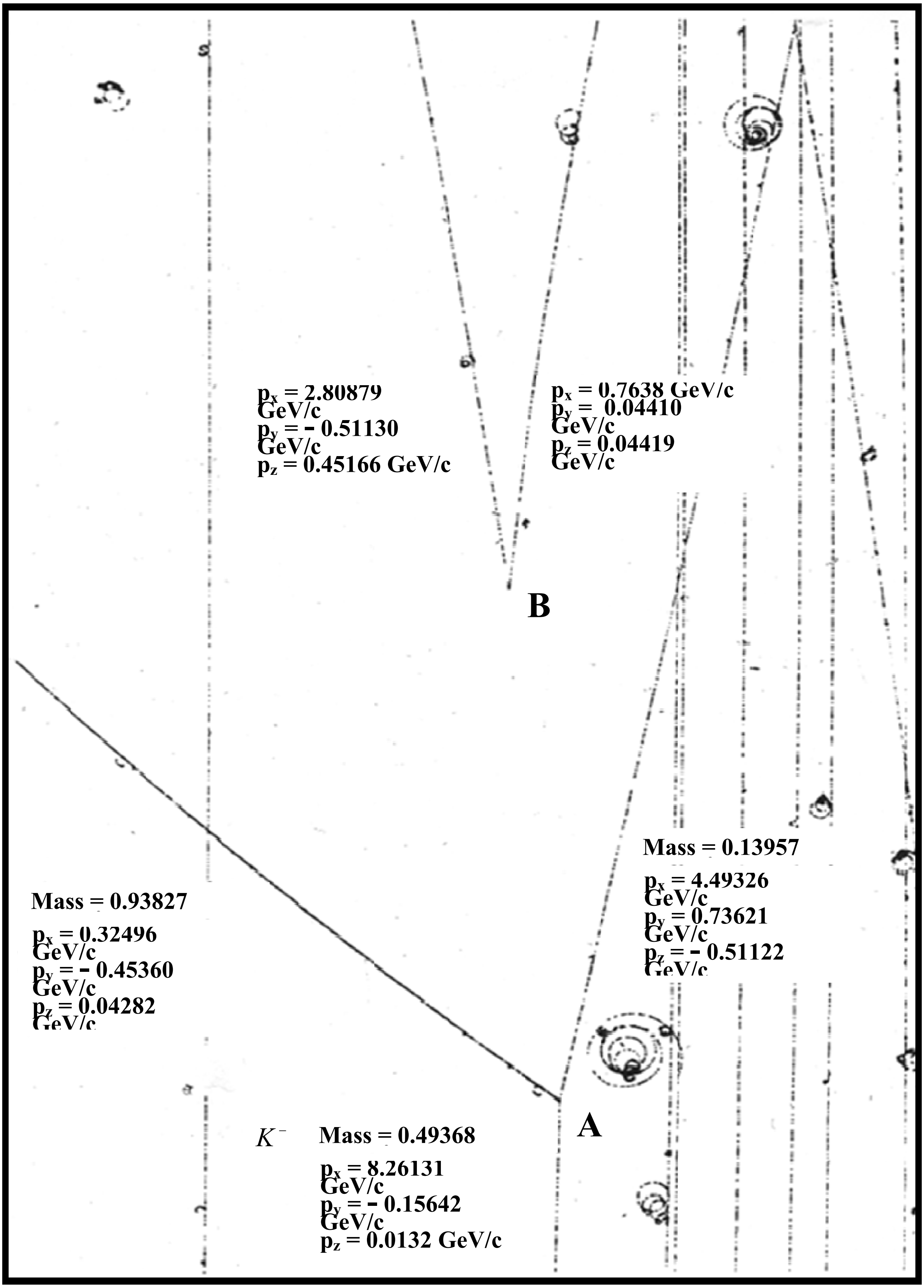


Start with a tank full of liquid hydrogen. The protons in the hydrogen are the targets. Charged particles traveling through matter lose energy by ionizing the hydrogen atoms. If one can record this ionization before the electrons and ions re-combine, we have a detector. Bubble chambers are put in a magnetic field which separates the negative, positive and neutral particle. The negative particles will curve in one direction in the magnetic field and the positive will curve in the opposite direction.

In the bubble chamber, the energy imparted to electrons creates trails of bubbles along the paths of the charged particles. These can be photographed, providing a permanent record of the charged particles. Neutral particles do not leave a trail of bubbles.

In the bubble chamber experiments, the bubbles formed are allowed to grow for a few milliseconds, and when they have reached a diameter of about 1 millimeter, a flash photograph is taken (on several views so as to enable the interactions to be reconstructed in 3-dimensions). From this data, physicists can calculate the total momentum of the particles making the track of bubbles in the chamber. The formula for the total momentum is $p^2 = p_x^2 + p_y^2 + p_z^2$ Physicists determined that the relationship between momentum **p**, mass **m**, the velocity **v** , energy **E** and the speed of light **c** , take the form of

$$E^2 = p^2c^2 + m^2c^4 \quad \text{and} \quad p = (E/c^2)v .$$


px = 2.80879 GeV/c
py = − 0.51130 GeV/c
pz = 0.45166 GeV/c
px = 0.7638 GeV/c
py = 0.04410 GeV/c
pz = 0.04419 GeV/c
B
Mass = 0.13957
px = 4.49326 GeV/c
py = 0.73621 GeV/c
pz = − 0.51122 GeV/c
Mass = 0.93827
px = 0.32496 GeV/c
py = − 0.45360 GeV/c
pz = 0.04282 GeV/c
A
K⁻
Mass = 0.49368
px = 8.26131 GeV/c
py = − 0.15642 GeV/c
pz = 0.0132 GeV/c

Looking at the model, do you see any interactions?

Describe what you see?

Part 1)

Did a beam hit a proton? ________________________ If so, where? ____________________________

Use your ruler or a straight edge to determine the curve of the particles from point A. What do you think the charge is on each bubble track? (Hint: remember the spiraling particles are electrons)

Explain:

Can you guess the particle that formed the dark, dense track going to the left?

Explain:

Sample Particle List:

Symbol	Particle	Mass (GeV/c^2)	Mass (Kg)	Charge	Spin	Energy (GeV) (at rest)
e-	Electron	0.000511	8.687E-31	-1	½	
e+	Positron	0.000511	8.687E-31	+1	½	
μ^-	Muon	0.1057	1.7969E-28	-1	½	
μ^+	Anti-muon	0.1057	1.7969E-28	+1	½	
γ	Photon	0	0	0	1	
p	Proton	0.938	1.5946E-27	+1	½	0.938
$\bar{p}$	Antiprotorn	0.938	1.5946E-27	-1	½	0.938
n	Neutron	1.43	2.431E-27	0	½	
$\bar{n}$	Antineutron	1.43	2.431E-27	0	½	
Λ	Lamda	1.116	1.8972E-27	0	0	
$\bar{\Lambda}$	Antilambda	1.116	1.8972E-27	0	0	
π^-	Pion	0.1396	2.3732E-28	-1	0	
π^+	Antipion	0.1396	2.3732E-28	+1	0	
π^0	Pion	0.135	2.295E-28	0	0	
K^+	Kaon	0.4937	8.3929E-28	+1	0	
K^-	Antikaon	0.4937	8.3929E-28	-1	0	
K_s^0	Kaon	0.4977	8.4609E-28	0	0	
Υ	Upsilon	9.46	1.6082E-26	0	-1	
J/ψ	Jay-Psi	3.0969	5.26473E-27	0	-1	
γ_μ	Muon neutrino	0	0	0	½	
γ	Neutrino	0	0	0	½	

Using the model, enter the particles and data for each particle in Table 1 below

	Particle	Mass (GeV/c^2)	Charge	p_x (GeV/c)	p_y (GeV/c)	p_z (GeV/c)	Energy (GeV)
	(beam)			8.26131			
	(target)				0		0.93827
	Sum						
	Positive	0.93827					
	Negative					0.13957	
	Sum						
X							

We use conservation of energy to verify our assumption about the particle going left. If the antikaon beam collided with a hydrogen proton and produced a proton and a pion, the energy before and after the collision must be the same.

What is the sum of the energy of the antikaon and proton? (Note that the hydrogen proton is at rest.)

What is sum of the energy of the pion and the proton that left a bubble trail?

Compare these energies. Are they the same within a reasonable margin of error?

Explain your conclusion:

Part 2) If you concluded that energy is missing, you were right.

Now we must take a second look at the collision and the possibility of another particle.

$$K^- + p^+ \rightarrow \pi^- + p^+ + X$$

Using conservation of momentum, the momentum before $p^{K\text{ - }(beam)} + p^{p+\ (target)}$ must be equal to the momentum after the collision $p^{\pi -} + p^{p+} + p^{x\ (unknown)}$

The momentum x, y and z before the collision must be equal to the momentum x, y and z after the collision $p^{K\text{ - }(beam)} + p^{p+\ (target)} = p^{\pi -} + p^{p+} + p^{x\ (unknown)}$

Isolate $p^{x\ (unknown)}$ and rewrite the equation for the x, y and z components.

$p_x^X =$ --

$p_y^X =$ --

$p_z^X =$ --

Using the data from Table 1 calculate the answers

$p_x^X =$ --

$p_y^X =$ --

$p_z^X =$ --

Put these results in Table 1

To find the energy of X we use the law of conservation of energy

$E^{K\text{ - }(beam)} + E^{p\ (target)} = E^{\pi -} + E^{p} + E^{x}$

Isolate E^{x} and rewrite the formula $\boldsymbol{E^{x}}$ **=** --

Calculate the answer and enter into Table 1

$$E^{X} =$$ --

Now we must calculate the mass of X

using the formula , $E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$ isolate m and rewrite the formula

$m^{unknown}$ = --

Calculate the mass of particle X and enter the answer in Table 1

$m^{unknown}$ = --

Looking at the particle list and knowing the mass, what is the invisible particle at collision A.

Part 3)

Look at Point B on the Model.

What can you say about the charges on the particles at point B? (Hint: use your ruler to determine the direction of the curve)

Do you see a connection between point A and point B? Explain:

What do you think caused the interaction at point B?

Through experimentation, physicists have found that there are three possible outcomes for the decay of K^0:

1) $K^0 \longrightarrow \pi^+ + \pi^-$

2) $K^0 \longrightarrow \mu^+ + \gamma_\mu$

3) $K^0 \longrightarrow \mu^+ + e^-$

Decays 2 and 3 are very rare. The most likely decay is $K^0 \longrightarrow \pi^+ + \pi^-$.

As physicists, you must calculate the momentum and energy to confirm this assumption.

From the Model, enter the data for the particles involved in the decay.

particle	P_x (GeV/c)	P_y (GeV/c)	P_z (GeV/c)	**Mass** (GeV/c^2)	**E** (GeV)
K^0 (From Table 1)					
π^+					?
π^-					?
Sum				?	?

Using momentum conservation,

$$p_x^{K^0} = p_x^{\pi^-} + p_x^{\pi^+} = \text{..}$$

$$p_y^{K^0} = p_y^{\pi^-} + p_y^{\pi^+} = \text{..}$$

$$p_z^{K^0} = p_z^{\pi^-} + p_z^{\pi^+} = \text{..}$$

Using the formula $E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$

$$E^{\pi^+} = \sqrt{\left(p_x^{\pi^+}\right)^2 + \left(p_y^{\pi^+}\right)^2 + \left(p_z^{\pi^+}\right)^2 + \left(m^{\pi^+}\right)^2}$$

$$E^{\pi^-} = \sqrt{\left(p_x^{\pi^-}\right)^2 + \left(p_y^{\pi^-}\right)^2 + \left(p_z^{\pi^-}\right)^2 + \left(m^{\pi^-}\right)^2}$$

$$E = E^{\pi^-} + E^{\pi^+} = \text{...}$$

Using the formula $E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$ rearrange the formula and solve for **m**

$$m^{\overline{K}^0} = \sqrt{E^2 - \left(p_x^{\overline{K}^0}\right)^2 - \left(p_y^{\overline{K}^0}\right)^2 - \left(p_z^{\overline{K}^0}\right)^2}$$

What is the mass that you calculated from the data? $m_{data}^{K^0} =$ ________________ (Gev/c^2).

What is mass given for K^0 in the particle chart? _________________ (Gev/c^2).

What is the difference between the masses?

____________________ (Gev/c^2).

What is the percent error?

Is the error acceptable?________________

Part 4)

One might ask whether any neutral particles escaped the bubble chamber without being detected?

Use the back of this page to show the total momentum and total energy before the collision and decay, and the total momentum and total energy after the collision and decay. Show all formulas and calculations.

Did any neutral particles escape the bubble chamber?

Calculations:

Part 5)

Summarize what you learned about identifying particles from a bubble chamber image.

คำบรรยายการแสดงที่โกลป (Globe) พร้อมด้วยบทแปลภาษาไทย

Intro) Our universe, vast and cold... What is it made of? How did it start? What is its destiny?

จักรวาลของเรา อันกว้างใหญ่และหนาวเย็นนี้ เกิดขึ้นมาจากอะไร เกิดขึ้นได้อย่างไร และจะเป็นอย่างไรต่อไปในท้ายที่สุด

Big Bang) For thousands of years, mankind has been wondering about these questions. The LHC will bring us closer to an answer....

เป็นเวลาหลายพันปีมาแล้ว ที่มนุษย์เราได้ตั้งคำถามเหล่านี้ ... เครื่องเร่งอนุภาคขนาดใหญ่ “แอล เอช ซี” จะนำเราเข้าไปใกล้คำตอบ

01) Everything started at the moment of the Big Bang, 13.7 billion years ago.

ทุกสิ่งทุกอย่างเริ่มต้นขึ้นจากการระเบิดครั้งใหญ่ที่เรียกกันว่า “บิ๊กแบง” เมื่อประมาณ 13.7 พันล้านปีมาแล้ว

02) Time and space begin when a tiny point full of energy starts expanding at an incredible rate.

เมื่อจุดเล็กๆ ที่เต็มไปด้วยพลังงาน เกิดการระเบิดและขยายตัวออกอย่างรวดเร็ว มิติแห่งพื้นที่และเวลาจึงได้เกิดขึ้น

03) An unimaginable amount of energy transforms into matter and antimatter ...

พลังงานจำนวนมหาศาลจากการระเบิดได้เปลี่ยนรูปไปเป็นสสารและปฏิสสาร

04) … but shortly after, all antimatter has disappeared, and only a tiny fraction of matter is left - still enough for all stars and planets in our Universe.

แต่หลังจากนั้นไม่นาน ปฏิสสารทั้งหมดได้หายไป เหลือไว้เพียงสสารจำนวนเล็กน้อย ที่รวมตัวกันเกิดเป็นดวงดาวต่างๆ

05) In the first three minutes, protons and neutrons form the lightest nuclei while the universe continues to expand and to cool down …
… but it takes almost 400 000 years until hydrogen and helium atoms can form.

เพียงสามนาทีแรกหลังจากบิ๊กแบง ในขณะที่จักรวาลกำลังขยายและเย็นตัวลง โปรตอนและนิวตรอนได้ก่อตัวขึ้นเป็นนิวเคลียสขนาดเล็ก แต่มันใช้เวลาเกือบสี่แสนปีจากนั้น ในการรวมตัวกันเกิดเป็นอะตอมของไฮโดรเจนและฮีเลียม

06) Now the Universe has become transparent. Light from this era can still be seen today as the cosmic background radiation.

ณ เวลานี้เองที่มีแสงเกิดขึ้นเป็นครั้งแรกในจักรวาล ซึ่งยังคงมีอยู่มาจนถึงปัจจุบัน

07) Gravity begins to pull the hydrogen and helium together …
… stars are born….
… fusion inside the stars forms heavy nuclei, the base of life …

แรงโน้มถ่วงเริ่มดึงดูดอะตอมไฮโดรเจนและฮีเลียมมารวมกัน … เกิดเป็นดวงดาวต่างๆ … นิวเคลียสขนาดใหญ่ก่อตัวขึ้น และเป็นรากฐานของการเกิดสิ่งมีชีวิตในเวลาต่อมา

08) … and these building blocks are thrown into space when stars die in giant explosions.

เมื่อดวงดาวสิ้นอายุไขลง ดวงดาวจะระเบิด … และทำให้ส่วนประกอบเล็กๆ ของมัน ฟุ้งกระจายในจักรวาลอีกครั้ง

09) After 9 billion years, gravity pulls some of these remnants together, to form our solar system …

9 พันล้านปีผ่านไป แรงโน้มถ่วงได้ดึงดูดสสารที่เหลือเหล่านี้เข้าด้วยกัน เกิดเป็นระบบสุริยะ

10) … with our planet Earth
… where evolution gives rise to life, intelligence and consciousness.

… ซึ่งรวมถึงโลกของเรา ที่แห่งนี้เองที่วิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตได้เริ่มต้นขึ้น

11) Since its awakening, humankind has wondered about its origin …
… and today we have developed the tools to give answers.

มนุษย์ได้พัฒนาเครื่องมือต่างๆ เพื่อตอบข้อสงสัยเกี่ยวกับจุดเริ่มต้นของตัวเอง

12) Scientists from more than 100 nations are working at CERN on The Large Hadron Collider, the most powerful tool to study the first moments of the Universe.

ที่เซิร์น นักวิทยาศาสตร์จาก 100 ประเทศทั่วโลก กำลังทำงานกับเครื่องเร่งอนุภาคขนาดใหญ่ "แอล เอช ซี" … เครื่องมือที่จะใช้ศึกษาเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาแรกๆ ของการกำเนิดจักรวาล

13) The LHC is a circular machine of 27 km circumference …

เครื่องเร่งอนุภาค "แอล เอช ซี" ที่มีลักษณะเป็นวงกลมรัศมี 27 กิโลเมตรนี้

14)…that accelerates beams of protons to more than 99.99% of the speed of light and collides them in four collision points.

สามารถเร่งลำอนุภาคโปรตอนให้มีอัตราเร็วมากกว่า 99.99% ของอัตราเร็วแสง เพื่อให้อนุภาคโปรตอนเหล่านั้นพุ่งชนกัน ณ จุด 4 จุด

15) Four huge detectors take snapshots of each collision - up to 600 million per second.

ซึ่งมีเครื่องตรวจวัดอนุภาคคอยตรวจจับผลของการชนแต่ละครั้ง ซึ่งเกิดขึ้น 600 ล้านครั้งต่อวินาที

16) In these collisions, energy is transformed into particles, just like in the first fraction of a second after the Big Bang

ในระหว่างการชนกันของอนุภาคโปรตอนเหล่านี้ พลังงานของอนุภาคโปรตอนจะเปลี่ยนรูปไปเป็นอนุภาคต่างๆ คล้ายกับเหตุการณ์ที่เคยเกิดขึ้นในช่วงไม่กี่เศษเสี้ยวของวินาทีหลังจากการเกิดบิ๊กแบง

17) The study of these data will soon allow us to answer some of the big questions …

การศึกษาข้อมูลเหล่านี้จะช่วยให้มนุษย์เข้าใจ …

18) … Will we understand the primordial state of matter before protons and neutrons formed?

เหตุการณ์การเกิดสสาร ก่อนที่พวกมันรวมตัวกันเป็นโปรตอนและนิวตรอน

19) … Will we find the reason why antimatter and matter did not destroy each other completely?

ทราบเหตุผลว่า ทำไมสสารและปฏิสสารไม่ได้ทำลายล้างกันอย่างสมบูรณ์

20) … Will we find the particles that make up the mysterious ‘dark matter’?

ได้พบอนุภาคลึกลับที่ก่อตัวขึ้นเป็นสสารมืด

21) … Will we find the Higgs particle that is responsible for giving mass to all particles?

และอนุภาคฮิกส์ ที่ทำให้อนุภาคทั้งหมดมีมวล

22) The LHC will bring us closer to an understanding of our Universe.

เครื่องเร่งอนุภาค “แอล เอช ซี” จะนำเราเข้าไปใกล้คำตอบของคำถามเกี่ยวกับจักรวาลเหล่านี้

ประวัติผู้เขียน

ข้อมูลทั่วไป

ชื่อ-สกุล: ลือชา ลดาชาติ

ตำแหน่ง: ครู คศ. 1 โรงเรียนสายบุรี “แจ้งประชาคาร” จ. ปัตตานี

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา: โรงเรียนทิพยรัตน์วิทยา จ. ตรัง

มัธยมศึกษา: โรงเรียนวิเชียรมาตุ จ. ตรัง

ปริญญาตรี: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ. สงขลา

ประกาศนียบัตรวิชาชีพครู: คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ. ปัตตานี

ปริญญาเอก (หลักสูตรพิเศษ 5 ปี): คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

ประวัติการทำงาน

ครูอัตราจ้าง: โรงเรียนสภาราชินี 2 จ. ตรัง

ครูผู้ช่วย: โรงเรียนสายบุรี “แจ้งประชาคาร” จ. ปัตตานี

ครู คศ. 1: โรงเรียนสายบุรี “แจ้งประชาคาร” จ. ปัตตานี

ผลงานวิชาการ

<u>ภาษาไทย</u>

- ลือชา ลดาชาติ และ วรรณทิพา รอดแรงค้า. (2551). การสำรวจสภาพการเรียนการสอนเรื่องเสียง ในโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จังหวัดตรัง. **วารสารวิจัย มข.**, 13(11), 1310-1320.
- ลือชา ลดาชาติ. (2554). การเรียนการสอนฟิสิกส์ด้วยโปรแกรมจำลอง. **เอกสารการอบรมเชิงปฏิบัติการเทคโนโลยีเพื่อกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบ**

ลงมือปฏิบัติ. สถาบันวิทยาศาสตร์, สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา. 31 สิงหาคม – 3 กันยายน 2554. กรุงเทพฯ: โรงแรมไทปัน.

ภาษาอังกฤษ

- Luecha, L. (2010). **An Analysis of Four Thai Physics Teachers' Classroom Talks**. A Paper Presented at the International Conference on Educational Research (ICER) 2010. Faculty of Education, Khon Kaen University, Thailand. 10-11 September 2010.
- Luecha, L., Nashon, S. M. and Roadrangka, V. (2010). A Thai Physics Teacher's Conceptual Difficulties While Teaching Unfamiliar Content. **KKU Research Journal**, 15(4), 304-316.