สุดขอบความรู้

พิศนุรัตน์ เขจร

สุดขอบความรู้

โดย พิศนุรัตน์ เขจร

ราคา 195 บาท

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

พิศนุรัตน์ เขจร

สุดขอบความรู้

ISBN 978-616-90931-5-2

250 หน้ารวมปก

เมษายน พ.ศ.2555

วิชาการ

พิศนุรัตน์ เขจร

ประวัติการศึกษา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

จัดพิมพ์และจัดจำหน่ายโดย

นาย พิศนุรัตน์ เขจร

177/11 ต.เชียงแรง อ.ภูซาง จ. พะเยา รหัสไปรษณีย์ 56110

พิมพ์ที่ บริษัท เจอาร์ พริ้นติ้ง แอนด์ คอมพิวท์ จำกัด

96/24 ซอยหมู่บ้านสุขเจริญ ถนนเทพารักษ์ อ.บางเสาธง จ.สมุทรปราการ

10540

คำนำ

ผู้เขียนเคยมั่นใจว่าคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นพื้นฐานของวิทยาศาสตร์คือสิ่งเดียวที่จะทำให้เราเข้าใจเอกภพหรือธรรมชาติได้ เพราะคิดว่าตรรกะและเหตุผลของคณิตศาสตร์คือสิ่งที่โต้แย้งไม่ได้ เนื่องจากคณิตศาสตร์หรือวิทยาศาสตร์ก็คือความรู้ ถ้าเราไม่มีความรู้เราจะเข้าใจธรรมชาติได้อย่างไร ซึ่งมันต้องเป็นเช่นนั้น แต่ไม่ว่าข้าพเจ้าจะอ่านคณิตศาสตร์หรือฟิสิกส์มากเท่าใดก็ตาม ก็ยังรู้สึกว่าฟิสิกส์ค่อนข้างที่จะยาก เช่น ใช้ภาษายากจนเกินไป เป็นภาษาที่เป็นทางการ และไม่ค่อยจะอธิบายในเรื่องที่สำคัญ ฟิสิกส์จึงเป็นเรื่องที่น่าเบื่อสำหรับใครหลายๆคน และอาจจะเป็นส่วนใหญ่รวมทั้งผู้เขียนเองก็เป็นแบบนั้น ฟิสิกส์ที่เราได้เรียนรู้กันมาคือฟิสิกส์ที่เน้นในเรื่องของการคำนวน โดยไม่ให้ความสำคัญกับแนวคิดและความหมายของสมการและการยกตัวอย่างเพื่อให้เราจินตนาการได้ ทำให้เราต้องจำมากกว่าเข้าใจ ปัญหาคือเราต้องทนกับความยุ่งยากของตัวเลข และต้องมีความชำนาญในทางคณิตศาสตร์ก่อนจึงจะเข้าใจฟิสิกส์ใช่หรือไม่ ถ้าเป็นไปได้ก็ดีเยี่ยมเพราะคณิตศาสตร์คือระบบการคิดที่เป็นขั้นตอน เป็นเหตุและผลและต้องใช้ความอดทน แต่ปัญหาคือคณิตศาสตร์แม้เป็นศาสตร์ที่มีความเป็นเหตุผลสูง แต่มีขีดจำกัดของตัวเอง เป็นขีดจำกัดที่อธิบายสิ่งที่อยู่เหนือจินตนาการและเหตุผลไม่ได้ วิชาที่ว่าด้วยเหตุและผลกลับไม่ได้ช่วยให้เข้าใจธรรมชาติอย่างที่เราคาดหวัง แน่นอนคณิตศาสตร์คือภาษาที่เราโต้แย้งไม่ได้ก็จริงอยู่ แต่เราลองพิจารณาดูว่าความหมายของการโต้แย้งไม่ได้นั้นคืออะไร ถ้ามีใครบอกเราว่า นั่นคือต้นไม้ เราก็ต้องบอกว่าจริง และเราโต้แย้งไม่ได้อยู่แล้ว แต่เราต้องไม่ลืมว่าภาษาคือสิ่งที่เราใช้เรียกแทนวัตถุสิ่งของ คณิตศาสตร์ก็เป็นเช่นนั้น การบวกกันทางคณิตศาสตร์หรือแม้แต่วิธีการทางแคลคูลัส เราโต้แย้งไม่ได้ เพราะผลของสมการล้วนเป็นวิธีการทางตัวเลข ตัวเลขที่ได้จากการบวก ลบ คูณหรือหารคือสิ่งที่แน่นอนเสมอ แต่คณิตศาสตร์ใช้แทนปริมาณที่เราวัดได้ นับได้ ระบุตำแหน่งของวัตถุ หรือใช้บอกรูปทรงทางเรขาคณิตเท่านั้น คณิตศาสตร์บอกเราเพียงแค่ว่าภายใต้สนามแรงชนิดต่างๆ วัตถุเคลื่อนที่อย่างไรเท่านั้น ซึ่งไม่ได้ให้คำตอบกับเราไปมากกว่านี้ ฟิสิกส์จึงจำเป็นต้องใช้คณิตศาสตร์ในการอธิบายธรรมชาติ แต่ก็ใช่ว่าหลักการทางฟิสิกส์จะเป็นไปในแนวทางเดียวกันหมด ฟิสิกส์สมัยใหม่มีสิ่งที่น่าสนใจอยู่มากมายซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญที่สุด แต่ไม่ได้รับความสำคัญจากฟิสิกส์กระแสหลัก หนังสือสุดขอบความรู้จะอธิบายถึงความหมายของความรู้ เทคโนโลยี ความก้าวหน้าทางฟิสิกส์ และสิ่งสำคัญที่สุดคือปัญหามากมายที่อธิบายไม่ได้ด้วยความรู้และเทคโนโลยี

พิศนุรัตน์ เขจร

ขอบพระคุณพ่อแม่ที่ได้ให้โอกาสในการศึกษาตั้งแต่เด็กจนถึงปัจจุบัน
ขอบพระคุณครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนในทุกๆเรื่อง
ขอบพระคุณนักการศึกษาทุกท่านในการให้ความรู้แก่สาธารณะชน

สุดขอบความรู้

ความรู้(สัมพัทธ์)ได้มาจากการเปรียบเทียบ **การเปรียบเทียบ**เป็นผลมาจากความแตกต่าง **ความแตกต่าง**เป็นผลมาจากการสังเกตการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาค **การเปลี่ยนตำแหน่ง**เป็นผลมาจากอันตกิริยาระหว่างอนุภาคมูลฐานอีกทีหนึ่ง แต่ทว่าปัญหาที่พ้นไปจากขอบเขตของอันตกิริยาและไม่อาจอธิบายได้ด้วยการเปรียบเทียบนั่นคือจุดสิ้นสุดของความรู้

บทที่ 1
กลศาสตร์คลาสสิก

กลศาสตร์คลาสสิกคือวิชาที่ว่าด้วยการเคลื่อนที่ของวัตถุและดวงดาว เป็นส่วนหนึ่งของฟิสิกส์และมักเรียกว่าฟิสิกส์ยุคเก่า กลศาสตร์คลาสสิกคือพื้นฐานที่สำคัญของเทคโนโลยีการก่อสร้าง และการเคลื่อนที่ในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นสิ่งก่อสร้าง อากาศยานและเครื่องจักรกล กลศาสตร์คลาสสิกประกอบไปด้วยสามส่วนหลักๆคือ คณิตศาสตร์ เรขาคณิตวิเคราะห์ และนิยามที่มาจากผู้สังเกตการณ์ที่จะบอกว่าวัตถุเคลื่อนที่อย่างไรเมื่ออยู่ภายใต้สนามแรงโน้มถ่วงและอิทธิพลจากแรงไฟฟ้า

ภาษา

พื้นฐานของความรู้ก็คือภาษา เราใช้ภาษาในการสื่อสารเพื่อสื่อความหมายในชีวิตประจำวัน หรือการถ่ายทอดวิธีการต่างๆ เหตุการณ์ต่างๆทางประวัติศาสตร์ไปสู่คนรุ่นหลัง ภาษาถูกบันทึกเป็นสัญลักษณ์โดยการใช้วัตถุเช่น การเรียงตัวของก้อนหินเป็นอักษร การเรียงตัวของสีหรือหมึกปากกาที่กลายเป็นรูปภาพและตัวอักษรบนกระดาษ หรือการบันทึกให้อยู่ในรูปแบบของรหัสเช่น การเรียงตัวของสารแม่เหล็กในฮาร์ดดิส หรือการจัดสถานะทางไฟฟ้า(ลอจิก)ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เช่นสถานะของทรานซิสเตอร์ที่ใช้เป็นหน่วยความจำ แต่ละสถานะของทรานซิสเตอร์จะถูกแปลเป็นภาษาอีกทีหนึ่ง เป็นต้น

การสื่อสารที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการบันทึกโดยใช้สสารหรือก็คืออะตอมและอนุภาคที่เล็กกว่าอะตอมนั่นเอง การสื่อสารแบบไม่บันทึกก็ต้องอาศัยอะตอมเช่นกัน นั่นคือการสื่อสารแบบเวลาจริง(real time)เช่นการสื่อสารโดยการพูด ซึ่งต้องใช้การเคลื่อนที่ของอนุภาคในการสื่อสารเช่น โมเลกุลก๊าซ(อากาศ)และเราสามารถเปลี่ยนรูปแบบการสั่นของก๊าซไปเป็นการสั่นของโฟตอนหรืออิเล็กตรอน เช่นการใช้โฟตอนเป็นสัญญาณโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่าโทรศัพท์แบบไร้สาย หรือใช้อิเล็กตรอนในการสื่อสารเช่น โทรศัพท์แบบมีสาย เป็นต้น

(ก) (ข)

รูป 1.1

เมื่อถามว่ารูปที่1.1ก เป็นรูปอะไร ทุกคนจะตอบได้ทันทีว่า“วงกลม” คำว่าวงกลมก็คือภาษาพูดนั่นเอง **ภาษาพูดคือสิ่งที่เรากำหนดขึ้นมาเพื่อใช้แทนภาพที่เรามองเห็น** เมื่อระนาบการมองเปลี่ยนไปเราก็จะเห็นวงกลมกลายเป็นวงรีได้เช่นกันดังรูปที่1.1ข ส่วนความแตกต่างระหว่างวงกลมกับสี่เหลี่ยมนั้นทุกคนก็สามารถบรรยายได้ไม่ยากนัก

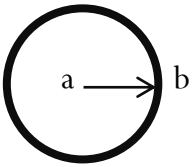
รูป 1.2

รูปที่1.2 เป็นรูปหัวใจ การมองเห็นของเราจะน้อยลงเรื่อยๆเมื่อเส้นของรูปหัวใจจางลงเรื่อยๆ ความชัดเจนของการมองเห็นก็คือระดับความแตกต่างของสีหรือความเข้มของแสง ถ้ารูปหัวใจมีเส้นสีขาวที่เหมือนกับพื้นเราก็จะมองไม่เห็น **การรับรู้ของเราจึงเป็นการรับรู้เชิงเปรียบเทียบระหว่างเส้นกับพื้นหลังหรือระหว่างความแตกต่างของสีที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุ**

การมองเห็นของเราคืออันตกิริยาอันเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือก็คืออันตกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนในเซลล์ดวงตาเรา(rod cell)กับโฟตอนซึ่งจะอธิบายอย่างละเอียดในบทที่7เรื่องฟิสิกส์อนุภาคและเราก็จะเข้าใจว่าการรับรู้ของเรามาจากแรงทางไฟฟ้า

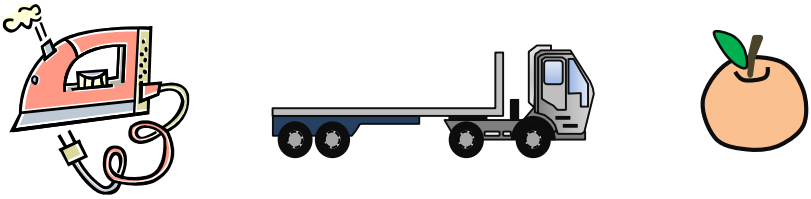
จากภาษาพูดสู่คณิตศาสตร์

ภาษาพูดจำเป็นอย่างยิ่งในการอธิบาย หรือการแยกชนิดของวัตถุ สิ่งที่จำเป็นต่อมาคือความแม่นยำในการบอกตำแหน่งของวัตถุและระยะทางระหว่างวัตถุที่เราสนใจ คำว่า ที่นั่น ที่นี่ หรือโน่น เป็นภาษาพูดที่บอกตำแหน่งอย่างคร่าวๆเท่านั้น ไม่เพียงพอในการบอกตำแหน่งที่มีความละเอียดสูง จากรูป1.3 เมื่อเราลากเส้นจากจุดa ไปยังจุดb ก็จะได้สิ่งที่เรียกว่าระยะทางหรือเรียกว่าความยาวก็ได้ คำว่าระยะทางมักใช้กับการเดินทางมากกว่า ความยาวจากจุดa ไป b ถูกตั้งชื่อให้มีความหมายแคบลงอีกเรียกว่า รัศมี ซึ่งจะบอกถึงความยาวจากจุดศูนย์กลางวงกลมไปยังขอบของวงกลม ดังนั้นรัศมีก็คือความยาวนั่นเองและ **ความยาวก็คือระยะที่วัดจากจุดaไปยังจุดbซึ่งก็เป็นการเปรียบเทียบอีกเช่นกัน** ค่าของความยาวจะบอกเป็นภาษาอีกแบบที่เรียกว่า ตัวเลข(number) เช่น100 เซนติเมตร หรือ1เมตร ซึ่งได้มาจากการใช้อุปกรณ์ในการวัดเช่น ไม้บรรทัด ตลับเมตร เป็นต้น และเราก็จะต้องใช้ภาษาพูดในการเรียกชื่อตัวเลขอีกทีหนึ่ง คือ หนึ่ง สอง สาม สี่...ตัวเลขเป็นภาษาชนิดหนึ่งที่นำไปใช้งานเฉพาะด้านและไม่อาจใช้ภาษาพูดของเราแทนได้



รูป 1.3

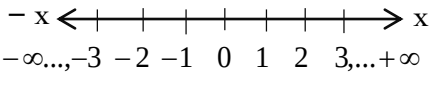
ถ้าเราใช้ตัวเลขในการเรียกชื่อวัตถุหรือสิ่งของจะเกิดความยากลำบากในการสื่อสารมากเพราะไม่สะดวกในการใช้ เช่นเรียกเตารีดว่า100 เรียกรถบรรทุกว่า101 เรียกส้มว่า102 ตัวเลขจึงไม่เหมาะที่จะใช้ในการเรียกชื่อเพราะยากต่อการจำ ตัวเลขจึงเหมาะในการใช้แทนถึงขนาดระยะทางหรือปริมาณเท่านั้น**ตัวเลขคือสิ่งที่เรากำหนดขึ้นมาเพื่อบอกปริมาณของสิ่งต่างๆเป็นสิ่งที่ได้มาจากการเปรียบเทียบของเราจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง** และตั้งเป็นความยาวมาตรฐานที่ใช้ร่วมกัน เช่น เมตร ฟุต นิ้ว หลา เป็นต้น สำหรับตัวเลขที่ไม่ได้ใช้ในการวัดความยาว ก็จะถูกนำไปใช้ในการนับจำนวนสิ่งของทั่วไป



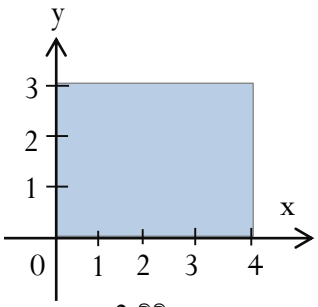
100 101 102

รูป 1.4

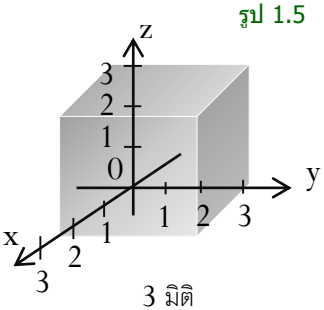
จะสังเกตได้ว่าภาษาพูดของเราเช่นภาษาไทยจะประกอบไปด้วยตัวอักษรแต่ละตัวซึ่งเมื่อนำมารวมกันแล้วก็จะกลายเป็นคำหรือเป็นประโยค ประกอบไปด้วย ก.ไก่ ถึง ฮ.นกฮูก ตัวอักษรทั้งหมดจะถูกแสดงเรียงกันหรือแสดงเป็นตารางเพื่อให้ง่ายต่อการจดจำของเด็กๆ ซึ่งเป็นแผนที่ทางภาษาของเรา ในระบบตัวเลขก็เช่นกัน เนื่องจากตัวเลขคือสิ่งที่บอกถึงขนาด ไม่ว่าจะเป็นความกว้าง ความยาว ความสูง แต่ทั้งหมดก็คือระยะทางและเพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจ ตัวเลขจะถูกแสดงบนแกนที่เรียกว่าแกนระยะทางทั้งในแบบหนึ่งมิติ สองมิติ จนกระทั่งสามมิติ



1 มิติ



2 มิติ

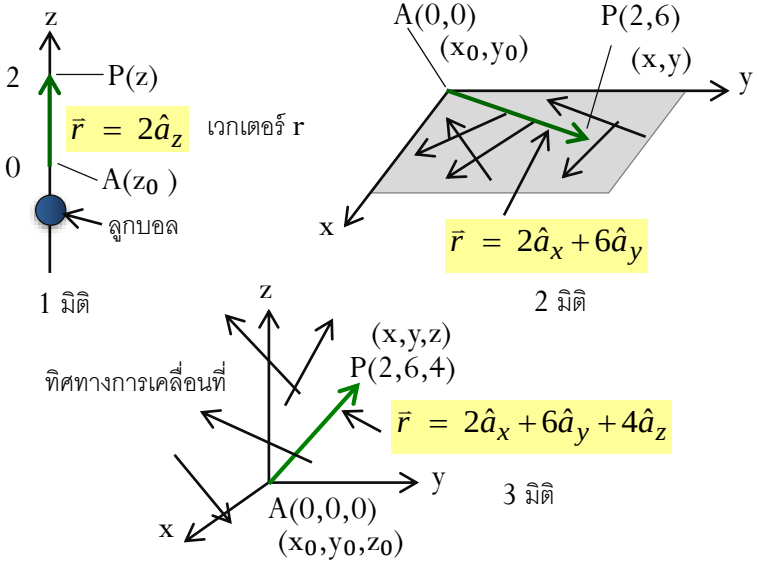


3 มิติ

รูป 1.5

เรามาทบทวนระบบพิกัดกันสักนิด ในแกนหนึ่งมิติจะใช้ชื่อว่าแกน x ซึ่ง x มีค่าได้ตั้งแต่$-\infty$ถึง$+\infty$ โดยมีตำแหน่งสมดุลที่คั่นระหว่างทิศทางด้านซ้ายและทิศทางด้านขวาคือที่จุด$x=0$ ระบบจำนวนนำไปใช้ได้กับทุกอย่างที่ถูกวัดเป็นตัวเลข เช่นจำนวนประชากร ค่าเงิน น้ำหนัก ความสูง ส่วนแกนสองมิติประกอบไปด้วยแกนหนึ่งมิติจำนวนสองแกนมารวมกัน แกนที่เพิ่มขึ้นมาจะใช้สัญลักษณ์y อักษรxและyเรียกได้อีกอย่างว่าตัวแปร(variable)สำหรับรูปร่างแบบ3 มิติก็จะเพิ่มแกนอีกหนึ่งแกนคือแกน z ดังนั้นรูปร่างแบบ3มิติจึงประกอบด้วยความกว้างในแนวแกน x ความยาวในแนวแกน y และความสูงในแนวแกนz จุดเริ่มต้นแกนหรือจุดอ้างอิงจะเป็นตำแหน่งที่คั่นระหว่างซ้าย-ขวาในแกนy,หน้า-หลังในแกน x และคั่นระหว่างบน-ล่างในแนวแกน z

ส่วนช่องว่างระหว่างตัวเลขก็จะถูกแบ่งย่อยออกไปอีกเพื่อให้มีความละเอียดสูงขึ้น เรียกว่าตำแหน่งทศนิยม ความยาวของแกนมีค่าได้เป็นอนันต์หรือยาวไม่สิ้นสุด ทำไมเป็นอนันต์? ถ้าเราลองนับตัวเลขดูจะพบว่าตัวเลขมีจำนวนมากมายมหาศาล ดังนั้นเราไม่สามารถทราบจำนวนสุดท้ายของตัวเลขได้เลย จำนวนนับจึงมีค่าไม่สิ้นสุด แกนของตัวเลขจึงเขียนเป็นลูกศรที่มีค่าเป็นอนันต์ ความหมายของหนึ่งมิติหมายถึงการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงซึ่งวัตถุเคลื่อนที่ได้แค่สองทิศทางเท่านั้น เช่นลูกบอลที่เคลื่อนที่ในแนวดิ่ง ส่วนสภาพที่มีสองมิติหมายถึงการเคลื่อนที่บนพื้นราบเช่นการเดินของเราบนพื้นราบซึ่งสามารถระบุตำแหน่งได้ด้วยตัวเลขสองตัวคือ xและy คั่นไว้ด้วยเครื่องหมายคอมมา(,) ตำแหน่งแรกคือค่าในแกน x ตำแหน่งที่สองคือค่าของแกนy ทำไมต้องเป็น xและy เราอยากเรียกแกนนี้ว่าอะไรก็ได้ แต่ส่วนใหญ่จะนิยมใช้เป็นxและy ในระบบสองมิติทิศทางการเคลื่อนที่เป็นไปได้ทุกๆทิศทางนั่นคือจำนวนทิศทางเป็นอนันต์ แต่ไม่ว่าวัตถุจะเคลื่อนที่ไปทางไหนก็จะใช้พิกัดเพียงแค่xและy เท่านั้น ส่วนคำว่าสามมิติไม่ได้หมายความว่าวัตถุเคลื่อนที่ได้แค่สามทิศทาง ในอวกาศสามมิติเส้นทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้มีค่าเป็นอนันต์ สามมิติหมายถึงการระบุตำแหน่งในอวกาศจะใช้ตัวเลขแค่สามตัวคือค่าx,y,z เพราะไม่ว่าเราจะชี้ไปที่ตำแหน่งใดในอวกาศค่าที่ได้ก็คือตำแหน่งของตัวเลขบนแกนทั้งสามนั่นเอง จากรูป1.6 จุดAและจุดP คือตำแหน่งใดๆบนอวกาศทั้งสามระบบ เวกเตอร์r คือเวกเตอร์ที่ชี้จากจุดAไปยังจุดP



รูป 1.6

แต่ไม่ว่าจะเป็นหนึ่งมิติหรือสองมิติ เป็นเพียงการพิจารณาภายใต้กรอบที่เรากำหนดเท่านั้น เพราะในสภาวะจริงๆก็คือสามมิติ ลูกบอลที่เคลื่อนที่ในแนวดิ่งก็อยู่ในเอกภพที่เป็นสามมิติ

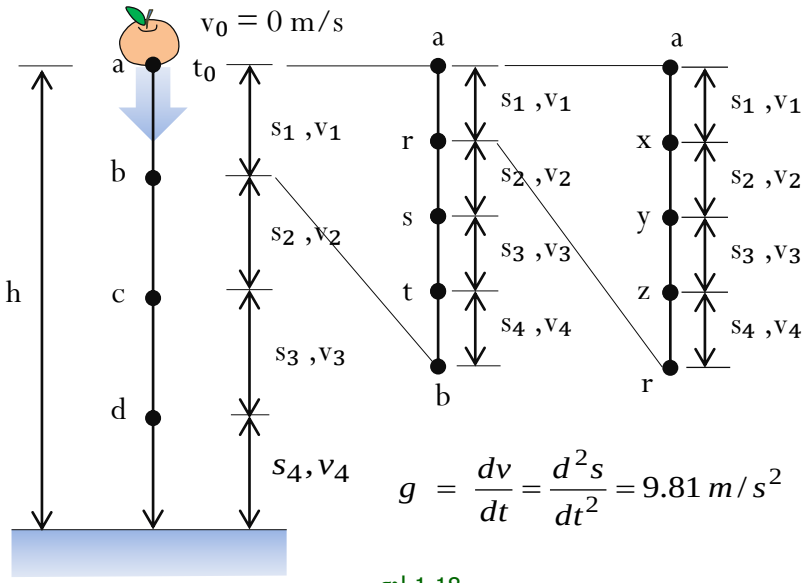
สนามแรงโน้มถ่วง(Gravitational Fields)

เราอาจสงสัยว่าทำไมวัตถุที่อยู่รอบๆตัวเราถึงต้องตกลงสู่พื้นดินเสมอไม่ว่าเราจะโยนวัตถุขึ้นไปสักกี่ครั้งก็ตาม เรามักจะคิดว่าการที่วัตถุจะเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปสู่อีกจุดหนึ่งได้นั้นจะต้องมีวัตถุอื่นไปชน ผลัก หรือลากดึง การที่วัตถุตกลงมานั้น เป็นการตกอย่างอิสระโดยไม่ขึ้นอยู่กับสิ่งใด และแม้จะมองไม่เห็นว่ามีสิ่งใดมากระทำ แต่นี่ก็เป็นกรณีเดียวกันกับที่วัตถุทุกประเภทสามารถทรงรูปร่างอยู่ได้เช่น เนื้อกล้วยเป็นชิ้นอยู่ได้โดยตัวมันเอง,แก้วเป็นรูปร่างอยู่ได้โดยที่เรามองไม่เห็นว่าภายในเนื้อแก้วมีสิ่งใดเป็นตัวช่วยในการยึดเกาะ การยึดเกาะของวัตถุเป็นผลมาจากสนามแรงที่มองไม่เห็นคือสนามไฟฟ้า ส่วนสนามแรงที่ทำให้วัตถุตกลงสู่พื้นโลกเราเรียกว่า สนามแรงโน้มถ่วง

เทคโนโลยีในปัจจุบันมาจากการสั่งสมประสบการณ์,วิธีการผลิต,การคำนวณจากผู้คนในอดีตส่งผ่านมาสู่รุ่นต่อรุ่นผ่านทางภาษาทั้งการพูดและการเขียน หลายสิ่งมาจากการลองถูกลองผิดมากมายจนเรามีความชำนาญในการสร้างวัตถุต่างๆที่มีความสลับซับซ้อนเช่น เครื่องบิน รถยนต์ โทรทัศน์ วิทยุ คอมพิวเตอร์ กล้องถ่ายรูป และเครื่องจักรทุกประเภท แม้ว่าเทคโนโลยีจะก้าวหน้าไปมากแต่เราแทบไม่รู้อะไรเลยเกี่ยวกับสนามแรงโน้มถ่วง ความรู้เท่าที่เรามีอยู่คือรู้ว่าสนามแรงโน้มถ่วงมีผลอย่างไรต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุเท่านั้น เป็นความรู้ในเชิงเปรียบเทียบ ก็คือ ประการแรกเรารู้ว่าวัตถุต้องตกลงพื้นโลกอย่างแน่นอน ซึ่งเราจะมองเห็นได้ง่าย ต่อมาเราสามารถคำนวณได้ว่าวัตถุจะตกลงสู่พื้นด้วยความเร็วเท่าใดและใช้เวลาเท่าใด เรารู้ว่าวัตถุหนักกระทบพื้นและสร้างความเสียหายได้มากกว่าวัตถุเบา หรือแม้กระทั่งคำนวณแรงออกมาก็ได้ เพราะแรงมากก็คือมีความเสียหายมากเพราะวัตถุมีความหนักมากนั่นเอง ดังนั้นการคำนวณแรงก็ย่อมขึ้นอยู่กับน้ำหนักวัตถุและความสูงจากจุดปล่อย

รูป 1.17

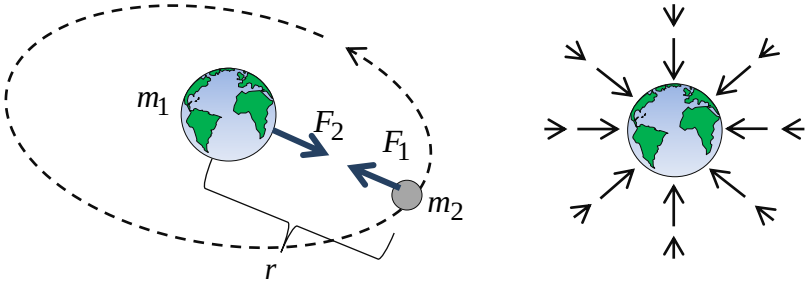
รูปที่1.17 แรงโน้มถ่วงมีบทบาทอย่างมากต่อการเคลื่อนที่ทั้งในระยะใกล้คือการดึงดูดของโลกกับตัวเราและระยะไกลคือการดึงดูดกันระหว่างดวงดาวและระหว่างดาราจักรในเอกภพ



รูป 1.18

เรารู้ว่าความเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก(g)$= 9.81\ m/s^2$ หมายถึงวัตถุหนักหรือเบาย่อมตกลงด้วยความเร่งที่เท่ากันเสมอ(ไม่คิดแรงต้านอากาศ)ความรู้เหล่านี้ได้มาจากการสังเกตการณ์ผ่านประสาทสัมผัสของเรา ยกตัวอย่างเช่น ส้มลูกหนึ่งถูกปล่อยลงมาจากที่สูงและตกลงสู่พื้นโลกโดยเริ่มปล่อยจากจุดa ที่ความสูงh ส่วนจุดb,c และd ที่เรากำหนดขึ้นมาเป็นจุดที่วัตถุเคลื่อนที่ผ่าน ระยะทางจากจุด a ถึงจุดb คือ s_1 ระยะทางจากจุด b ถึง c คือ s_2 จากรูป1.18 s_1, s_2 ,s_3และ s_4 มีความยาวเท่ากันทั้งหมด ก่อนที่วัตถุจะตกลงมาสมมุติว่าวัตถุหยุดนิ่งอยู่กับที่ ดังนั้นความเร็วเริ่มต้นก่อนตกจึงเป็นศูนย์คือ $v_0=0\ m/s$ จากการสังเกตของเราโดยการจับเวลาจะพบว่าวัตถุจากจุด a วิ่งมาถึงจุดb ใช้เวลามากกว่าเมื่อวัตถุจากจุด b วิ่งมาถึงจุด c ส่วนจากจุด c ถึงจุด d ก็ใช้เวลาน้อยกว่าอีก และจากจุด d ถึงพื้นจะใช้เวลาน้อยที่สุด จึงสรุปได้ว่าวัตถุมีความเร็วเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ยิ่งใกล้พื้นโลกความเร็วจะยิ่งสูง ดังนั้นถึงแม้ระยะทางจะถูกแบ่งเท่ากันแต่ความเร็วในช่วงต่างๆไม่เท่ากัน โดยที่ $v_4>v_3>v_2>v_1$ ความเร็วจึงมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นเรื่อยๆเมื่อเรานำความเร็วที่เปลี่ยนไป มาเทียบกับเวลาอีกครั้งหนึ่งก็จะได้ความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงนั่นก็คือค่า g ซึ่งเป็นค่าคงที่ โดยที่ $g = dv/dt = d^2s/dt^2 = 9.81\ m/s^2$ จากนั้นเมื่อเราขยายระยะทางระหว่างจุด a กับจุด b และแบ่งระยะทางเป็น 4 ส่วนย่อยๆ เราก็จะได้ความเร็วที่จุด t ถึงจุด b เป็นช่วงที่มีความเร็วมากที่สุด(เมื่อเทียบกับความเร็วอีกสามช่วงคือจาก a ถึง r,r ถึง s และs ถึง t)และถ้านำระยะทางระหว่างจุด a ถึงr มาขยายอีกทีเราก็จะได้ความเร็วที่จุดz ถึง rเป็นความเร็วที่มากที่สุดเช่นกัน เมื่อขยายต่อไปอีกก็จะเป็นเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆไม่มีที่สิ้นสุด

จะเห็นได้ว่าความรู้ที่เรามีเกี่ยวกับแรงโน้มถ่วงจึงไม่มีเลย เราไม่รู้อะไรเกี่ยวกับแรงโน้มถ่วง เราไม่มีทางรู้เลยว่าแรงโน้มถ่วงดึงเราได้อย่างไร ไม่รู้ว่าแรงโน้มถ่วงมีตัวตนอย่างไร เรารู้แค่ว่าวัตถุเคลื่อนที่ยังไงเมื่ออยู่ภายใต้แรงโน้มถ่วง เรารู้เพียงแค่ว่าวัตถุที่อยู่ภายใต้แรงโน้มถ่วงเคลื่อนที่ลงมาแต่ละจุดด้วยความเร็วเท่าไร ความเร่งเท่าใด มีโมเมนตัมเท่าใด นั่นคือเรารู้เพียงผลลัพธ์ของแรงที่กระทำต่อวัตถุอื่นเท่านั้น แม้ว่าปัจจุบันความรู้ทางฟิสิกส์จะค้นคว้าและให้คำตอบว่าแรงโน้มถ่วงคือผลจากการแลกเปลี่ยนอนุภาคที่เรียกว่ากราวิตอน (graviton)ระหว่างอนุภาคเลปตอนก็ตาม แต่ก็เป็นเรื่องยากที่จะจินตนาการถึงสภาวะแบบนั้นได้ เราจึงได้เพียงแต่สร้างแบบจำลองของการแลกเปลี่ยนอนุภาคเท่านั้น เช่นแบบจำลองของริชาร์ด ไฟน์แมน หรือในโลกของอะตอมและอนุภาคที่เล็กกว่าอะตอมเราก็ไม่อาจทราบได้ว่าการแลกเปลี่ยนอนุภาคโฟตอนระหว่างอนุภาคอิเล็กตรอนมีลักษณะเป็นอย่างไร เรารู้เพียงแค่กำลังของแรงที่วัดออกมาเป็นตัวเลขเท่านั้น แม้แรงเหล่านี้เราจะเรียกว่าสนามไฟฟ้า และมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการอธิบาย แต่คณิตศาสตร์ก็อธิบายได้เพียงทิศทางของอิเล็กตรอนเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าเท่านั้นสนามไฟฟ้านั้นในแง่ทางกายภาพแล้วยังเป็นสิ่งที่อธิบายไม่ได้ด้วยภาษาของเรา ความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลกจะเป็นค่าคงที่ในช่วงตั้งแต่พื้นโลกจนถึง30 km เหนือพื้นโลกเท่านั้น ในความสูงที่มากกว่า30 km ขึ้นไปแรงดึงดูดจะเริ่มลดต่ำอย่างรวดเร็ว และมีค่าน้อยมากเมื่อออกจากชั้นบรรยากาศของโลก



(ก) แรงที่เกิดขึ้นระหว่าง 2 ดวงดาว **(ข)** Gravitational field

รูป1.19

จากรูป1.19ก กำหนดให้วัตถุมวล$\mathbf{m_1}$คือโลก $\mathbf{m_2}$คือดวงจันทร์,$\mathbf{r}$คือระยะห่างจากจุดศูนย์กลางระหว่างดวงดาวทั้งสอง(หน่วยเป็นเมตร),$\mathbf{F_1}$คือแรงที่โลกดึงดวงจันทร์ซึ่งจะเท่ากับแรงที่ดวงจันทร์ดึงโลกคือ $\mathbf{F_2}$ โดยที่ $\mathbf{F_1 = F_2}$ แต่เนื่องจากมวลดวงจันทร์น้อยกว่าโลก ดวงจันทร์จึงเป็นฝ่ายเคลื่อนตัวเข้าหาโลก สมการแรงโน้มถ่วงที่เกิดขึ้นระหว่างวัตถุในระดับเหนือชั้นบรรยากาศโลกคือ

$$F_1 = F_2 \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

ดังนั้นสมการทั่วไปของแรงโน้มถ่วงระหว่างวัตถุคือ

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

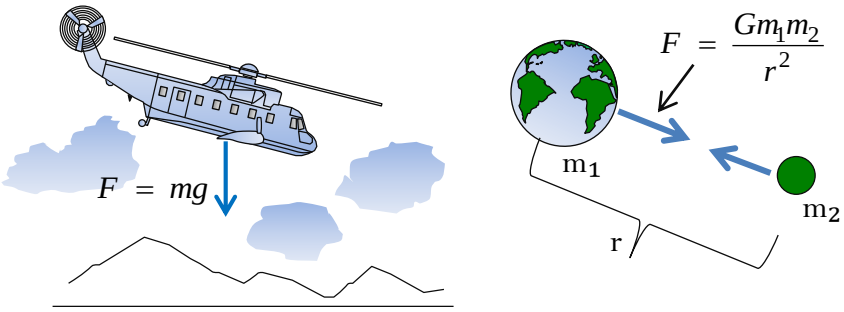
Gคือค่าคงที่สากลของแรงโน้มถ่วง(Universal constant of gravitation)มีค่าเท่ากับ 66.73×10^{-12} $m^3/kg\cdot s^2$,ในกรณีที่วัตถุมวลm_2(เช่นลูกบอล,รถ,เครื่องบิน)อยู่ใกล้กับพื้นโลกมากๆเช่นอยู่ในระดับบรรยากาศของโลกหรือบนพื้นโลก จะได้ระยะห่างระหว่างตัวโลกกับวัตถุมวลmประมาณเท่ากับรัศมีของโลก(rคือรัศมีของโลกมีค่าประมาณเท่ากับ $6.378x10^6$ m)โดยที่รัศมีของโลกคือค่าคงที่และm_1คือมวลของโลกซึ่งเป็นค่าคงที่เช่นกัน (มวลของโลกมีค่าประมาณเท่ากับ$5.974x10^{24}$ kg)เราจะได้ค่าคงที่3ตัวคือ G,m_1 และr และกำหนดให้ค่าคงที่เหล่านี้คือg ดังนั้นจะได้สมการ

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} = m_2g$$

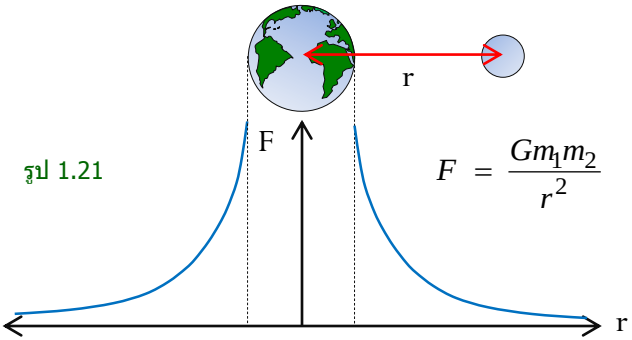
เนื่องจากm_2คือวัตถุใดๆที่ถูกดึงโดยโลกดังนั้นเพื่อความสะดวกจะกำหนดชื่อสั้นๆให้เป็นวัตถุมวล m ดังนั้นสมการแรงที่โลกกระทำกับมวลm ใดๆในชั้นบรรยากาศคือ

$$F = mg$$

g คือความเร่งของวัตถุอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วง เป็นความเร่งเข้าสู่ศูนย์กลางของโลกที่จะดึงวัตถุเข้าไปยังโลกอยู่เสมอ โดยที่$g= Gm_0/r^2 = 9.81$ m/s^2 เมื่อm คือวัตถุใดๆที่อยู่ภายใต้แรงดึงดูดของโลก สมการW=mg เป็นสมการเดียวกับF=ma แต่เขียนต่างกัน ซึ่ง Wคือน้ำหนัก(เป็นแรงในแนวดิ่งหรือเรียกว่าแรงดึงดูด)มีหน่วยเป็นนิวตัน(N) หรือ $kg\cdot m/s^2$,ตัวอย่างเช่นมวล1กิโลกรัมจะมีน้ำหนัก=$1kgx9.81m/s^2$=9.81N,มวล5กิโลกรัมจะมีน้ำหนัก=$5kgx9.81m/s^2$= 49.05N เครื่องชั่งในปัจจุบันเป็นเครื่องชั่งที่วัดแรงแต่มีการปรับเทียบให้มีค่าออกมาเป็นมวล



รูป 1.20



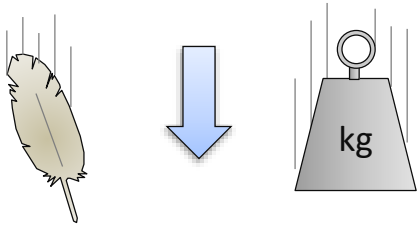
รูป 1.21

จากรูป1.21 เป็นกราฟระหว่างแรงดึงดูด F กับระยะห่าง r เป็นธรรมดาที่ว่ายิ่งวัตถุอยู่ห่างจากโลกเท่าใดแรงดึงดูดก็จะมีค่าน้อยลงเรื่อยๆ แล้วแรงน้อยลงแค่ไหนนั้นสมการของนิวตันได้ให้คำตอบไว้แล้ว แต่ปัญหาที่ใหญ่กว่าคือทำไมแรงดึงดูดถึงน้อยลงเรื่อยๆ เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น ยังเป็นปัญหาที่ยังไม่มีใครตอบได้ จากกราฟเห็นว่าแม้แรงดึงดูดจะน้อยลงก็ตาม แต่แรงจะไม่เท่ากับศูนย์ไม่ว่า r จะมีระยะมากเท่าใด ดังนั้นแรงดึงดูดระหว่างวัตถุจึงมีผลต่อกันเสมอทั้งทั้งเอกภพไม่ว่าดวงดาวจะอยู่ที่ใดก็ตาม

เมื่อระยะห่างจากโลกเพิ่มขึ้นเรื่อยๆแรงดึงดูดที่กระทำต่อวัตถุก็จะน้อยลงเรื่อยๆ ดังนั้นค่า g ก็จะมีค่าลดลงเรื่อยๆเช่นกัน ค่า $g=9.81\ m/s^2$ เป็นค่า g ที่ระดับน้ำทะเล แต่เนื่องจากในระดับบรรยากาศของโลกที่อยู่สูงขึ้นไปอีก30 กิโลเมตรเหนือระดับน้ำทะเล ค่า g เปลี่ยนแปลงไปน้อยมากไม่ถึง1เปอร์เซ็นต์ ในการคำนวณการเคลื่อนที่ของวัตถุที่อยู่ในระดับบรรยากาศโลกจึงใช้ค่า g ที่ระดับน้ำทะเลได้ แรงโน้มถ่วงจะมากที่สุดคือจุดที่ใกล้พื้นผิวของโลก และในระยะที่ห่างออกไปแรงโน้มถ่วงจะลดต่ำลงแต่ไม่มากนัก แต่ที่ระยะทาง500 กิโลเมตรเหนือพื้นโลกแรงดึงดูดจะลดลงอย่างรวดเร็วมาก น้อยมากจนเราอยู่ในสภาวะที่ไร้น้ำหนัก ในสภาวะนี้ไม่ได้หมายความว่าเราจะเป็นอิสระจากแรงโน้มถ่วงของโลก เราก็ยังคงถูกโลกดึงดูดอยู่ เนื่องจากเราก็ยังคงโคจรอยู่รอบโลกนั่นเอง

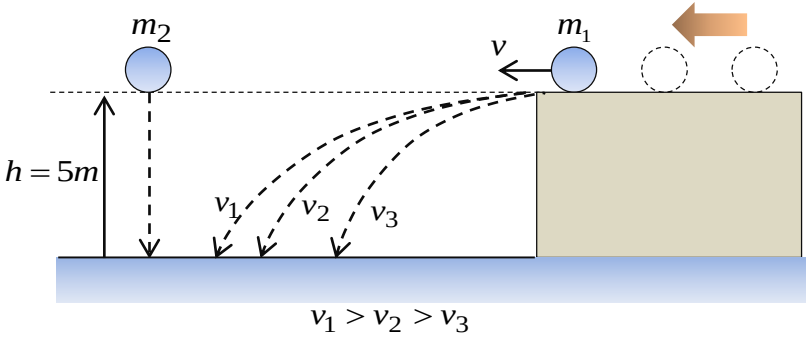
เราอาจสงสัยว่าในเมื่อโลกดึงดูดวัตถุทุกอย่างเข้าสู่จุดศูนย์กลางแล้ว ทำไมดวงจันทร์หรือดาวเทียมไม่ตกลงมาสู่โลก หรือทำไมมนุษย์อวกาศจึงลอยอยู่รอบโลกในสภาวะไร้น้ำหนักได้ ความจริงแล้วดวงจันทร์ตกลงมายังโลกอยู่เสมอ แต่เป็นการ **ตกรอบโลก** เนื่องจากดวงจันทร์มีความเร็วในแนวสัมผัส ดวงจันทร์จึงไม่ตกลงพื้นโลก เช่นเดียวกับที่โลกไม่ตกเข้าไปยังดวงอาทิตย์ เพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนมากขึ้น ก่อนอื่นเราต้องทราบธรรมชาติของการเปลี่ยนตำแหน่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงก่อน

ข้อแรก ถ้าไม่มีแรงอื่นใดกระทำกับวัตถุ นอกจากแรงดึงดูดอย่างเดียว วัตถุจะต้องตกลงมาที่พื้นโลกเสมอและในเวลาที่เท่ากันหมายความว่าถ้าไม่มีแรงอื่นๆกระทำกับดวงจันทร์แล้ว ดวงจันทร์จะต้องตกลงมาที่โลก



รูป 1.22

ข้อที่สอง ในการตกของวัตถุจากความสูงที่เท่ากัน ถ้าไม่มีแรงใดๆกระทำกับวัตถุ วัตถุจะต้องตกลงมาที่พื้นโลกโดยใช้เวลาเท่ากันตัวอย่างเช่นวัตถุที่ตกอิสระภายในบรรยากาศของโลก ถ้าไม่มีแรงต้านจากอากาศแล้ว(ไม่มีแรงผลักจากอะตอมของอากาศ)วัตถุจะต้องตกถึงพื้นพร้อมกันโดยไม่ขึ้นอยู่กับขนาดมวล เช่นขนนกกับแท่งโลหะจะตกถึงพื้นพร้อมกัน

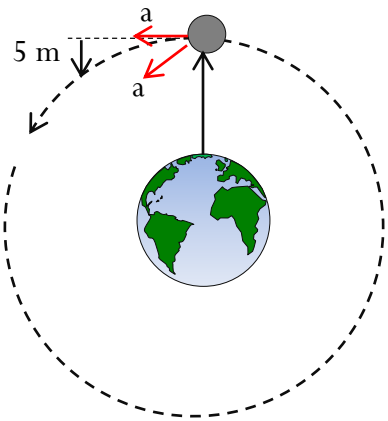


รูป 1.23

การตกถึงพื้นในระยะที่เท่ากันโดยใช้เวลาเท่ากันยังใช้ได้อยู่แม้จะเป็นวัตถุที่เคลื่อนที่ในแนวระนาบ ตัวอย่างเช่นจากรูป1.23 ลูกบอลมวล m_1 เคลื่อนที่ด้วยความเร็วvในแนวระนาบเมื่อลูกบอลมาถึงขอบที่มีความสูง5เมตร ลูกบอลก็จะเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งจนตกลงสู่พื้นโดยใช้เวลาเท่ากับ1วินาที และในเวลาเดียวกันนั้นลูกบอลm_2ที่อยู่สูง5เมตร ก็ตกลงสู่พื้นในแนวดิ่งเช่นกัน ถ้าลูกบอลm_1กับลูกบอลm_2ตกลงสู่อากาศในเวลาเดียวกันผลก็คือลูกบอลทั้งสองตกถึงพื้นพร้อมกัน และไม่ว่าก่อนตกลูกบอลm_1จะเคลื่อนที่เร็วแค่ไหนก็ตาม ในเวลา1วินาทีลูกบอลm_1ก็จะตกลงเป็นระยะทางเท่ากับ5เมตร(หมายถึงระยะที่ตกลงมาเทียบกับระยะเดิม)

ในกรณีวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงมากในแนวระดับ เช่นจรวดที่ถูกยิงในแนวขนานกับพื้นผลจะเป็นอย่างไร คำตอบคือ จรวดก็จะตกลงเป็นระยะทาง5 เมตรเมื่อเวลาผ่านไปหนึ่งวินาทีเช่นกัน เพราะในหนึ่งวินาทีจรวดจะเคลื่อนที่ไปได้ไกลมาก แต่ถ้าวัดระดับความสูงของจรวดเมื่อผ่านไปหนึ่งวินาที ผลก็คือจรวดตกลงไปจากระดับเดิมเท่ากับ5เมตร และเมื่อเวลาผ่านไปเรื่อยๆจรวดก็จะต่ำจากจุดเดิมลงเรื่อยๆ แต่จรวดจะไม่ตกถึงพื้นเพราะผิวโลกโค้ง จรวดจะตกรอบโลกและเคลื่อนที่ขนานกับพื้นโลกไปเรื่อยๆ

ในกรณีของดวงจันทร์ก็ตกลงสู่โลกเป็นระยะ 5เมตรในเวลาหนึ่งวินาทีเช่นกัน แต่ทำไมดวงจันทร์ไม่ชนพื้นโลก นั่นเป็นเพราะว่าพื้นผิวโลกเป็นทรงกลม ดวงจันทร์ตกลงมาเรื่อยๆแต่พื้นผิวของโลกจะโค้งหนีการตกของดวงจันทร์ นั่นคือพื้นผิวที่โค้งของโลกทำให้ดวงจันทร์ไม่ตกลงสู่พื้นโลก หมายความว่าดวงจันทร์นอกจากจะถูกดึงโดยความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลกแล้ว ก็ยังมีความเร่งในแนวขนานกับพื้นโลกซึ่งทำให้ดวงจันทร์เคลื่อนที่รอบโลก เพราะถ้าไม่มีแรงใดๆกระทำกับดวงจันทร์แล้ว ดวงจันทร์จะตกลงพื้นโลก



รูป 1.24
ดวงจันทร์โคจรรอบโลก

นิโคลัส โคเปอร์นิคัส(Nicolaus Copernicus,1473–1543)นักดาราศาสตร์ชาวโปแลนด์ ได้อธิบายไว้ว่าดวงอาทิตย์เป็นจุดศูนย์กลางของจักรวาลโดยที่โลกและดาวเคราะห์ดวงอื่นๆหมุนรอบดวงอาทิตย์และมีวงโคจรเป็นวงกลม เพราะมีการสังเกตพบว่าดาวศุกร์และดาวพุธไม่เคยอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์เลย เพราะถ้าดวงดาวต่างๆรวมทั้งดวงอาทิตย์หมุนรอบโลก จะต้องมีบางช่วงที่ดาวทั้งสามแยกตำแหน่งออกจากกัน โคเปอร์นิคัสยังอธิบายด้วยว่าโลกเป็นทรงกลมและหมุนรอบตัวเอง(ถ้าจักรวาลในสมัยของโคเปอร์นิคัสหมายถึงเอกภพก็จะเป็นกรณีที่ไม่ถูกต้องเพราะดวงอาทิตย์คือจุดศูนย์กลางของระบบสุริยะไม่ใช่จุดศูนย์กลางของเอกภพ ระบบสุริยะเป็นส่วนหนึ่งของดาราจักร ส่วนดาราจักรคือกลุ่มดาวขนาดใหญ่ที่เคลื่อนที่อยู่ในเอกภพ)

ในปีค.ศ.1605 โยฮันเนส เคปเลอร์(Johannes Keple,1571–1630)นักดาราศาสตร์ชาวเยอรมันได้ประกาศกฎสองข้อเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ดังต่อไปนี้ **ข้อแรก** ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะหมุนรอบดวงอาทิตย์ด้วยความเร็วไม่คงที่และหมุนเป็นวงรี โดยมีดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งจุดโฟกัสของวงรี การที่ดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งจุดโฟกัสที่เป็นวงรี ทำให้ระยะของดาวเคราะห์ถึงดวงอาทิตย์ไม่คงที่ เมื่อดาวเคราะห์อยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กับดวงอาทิตย์ดาวเคราะห์จะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าจุดที่ดาวเคราะห์อยู่ไกลจากดวงอาทิตย์

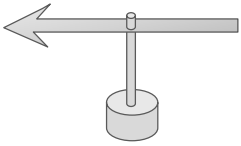
บทที่ 2
ไฟฟ้าสถิต

Electric breakdown of and power insulator

ในบทนี้จะกล่าวถึงการค้นคว้าทางไฟฟ้าสถิตที่มีมาอย่างยาวนาน ไฟฟ้าสถิตเป็นพื้นฐานเริ่มต้นในการเรียนรู้ทางด้านแรงทางไฟฟ้า เป็นพื้นฐานของวิศวกรรมไฟฟ้าสมัยใหม่ การที่เราจะเข้าใจธรรมชาติของไฟฟ้าจึงจำเป็นจะต้องเรียนรู้ที่มาของนิยามต่างๆทางไฟฟ้า เราต้องรู้ก่อนว่าภาษาและนิยามที่ใช้เกี่ยวกับไฟฟ้านั้นคืออะไร

การทดลองทางไฟฟ้าของวิลเลียม กิลเบิร์ต

การศึกษาทางด้านไฟฟ้ามีมาอย่างยาวนานตั้งแต่การศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ฟ้าผ่า ไฟฟ้าสถิต หรือการศึกษาแม่เหล็กธรรมชาติที่นำมาทำเป็นเข็มทิศ ปรากฏการณ์ที่มนุษย์สังเกตเห็นได้มาแต่โบราณคือฟ้าผ่า ฟ้าแลบ ประกายไฟบนเครื่องนุ่งห่ม การที่ปลาตอร์ปิโดทำให้เหยื่อสลบ หรือความสามารถในการดึงดูดวัตถุเล็กๆของแท่งอำพัน เป็นต้น



(ก) เข็มทิศไฟฟ้าของกิลเบิร์ต

(ข) William Gilbert

รูป 2.1

วิลเลียม กิลเบิร์ต(William Gilbert,1544–1603)นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษได้ศึกษาเกี่ยวกับอำนาจของแท่งอำพันและแท่งถ่านหินบดที่ถูกถู ที่สามารถดึงดูดวัตถุเบาๆได้ โดยนำเสนอในหนังสือชื่อOn the magnet ในปีค.ศ.1600 ในขณะนั้นอำนาจทางแม่เหล็กกับอำนาจทางไฟฟ้ายังไม่มีใครอธิบายได้ว่ามาจากอะไร

นอกจากแท่งอำพันและแท่งถ่านหินบดที่ดึงดูดวัตถุเบาๆได้ กิลเบิร์ตได้เพิ่มเติมรายชื่อสสารอีกหลายชนิดที่มีอำนาจทางไฟฟ้าเช่น กำมะถัน เพชร แซฟไฟร์ พลอย ยางไม้ หินควอตซ์ แก้ว เกลือหิน ไมกา สารส้ม เป็นต้น กิลเบิร์ตได้เรียกอำนาจในการดึงดูดของสสารว่า **อำนาจทางไฟฟ้า**(Electric) กิลเบิร์ตได้แสดงว่าสารที่มีอำนาจทางไฟฟ้าสามารถดึงดูดวัตถุได้ทุกชนิด เช่น โลหะ ก้อนหิน ดิน น้ำ เป็นต้น ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ก่อนหน้านั้นจะพบว่าดึงดูดได้แค่เศษไม้หรือฟางข้าวเท่านั้น วิลเลียม กิลเบิร์ต ได้สร้างเข็มทิศไฟฟ้าขึ้นซึ่งเป็นเครื่องมือทางไฟฟ้าเครื่องแรก เข็มทิศไฟฟ้าของกิลเบิร์ต มีลักษณะโครงสร้างแบบเดียวกับเข็มทิศที่เป็นแม่เหล็ก ต่างกันที่เข็มทิศไฟฟ้าจะใช้โลหะอะไรก็ได้ หรือไม่ใช่โลหะก็ได้ โดยทำให้เป็นก้านที่มีขนาดเบาๆ วางอยู่บนฐานที่หมุนได้คล่องดังรูป2.1ก เมื่อนำวัตถุที่มีอำนาจทางไฟฟ้ามาใกล้เข็มทิศจะทำให้เข็มทิศหมุนได้ เข็มทิศไฟฟ้าจึงเป็นเครื่องวัดประจุไฟฟ้า(Electroscope)ได้ กิลเบิร์ตยืนยันว่าพลังในการดึงดูดของแท่งอำพันมาจากการถูจนทำให้เกิดความร้อนเท่านั้น การให้ความร้อนกับวัตถุเช่นการใช้ไฟไม่อาจทำให้วัตถุมีอำนาจในการดึงดูดได้

รูป 2.2

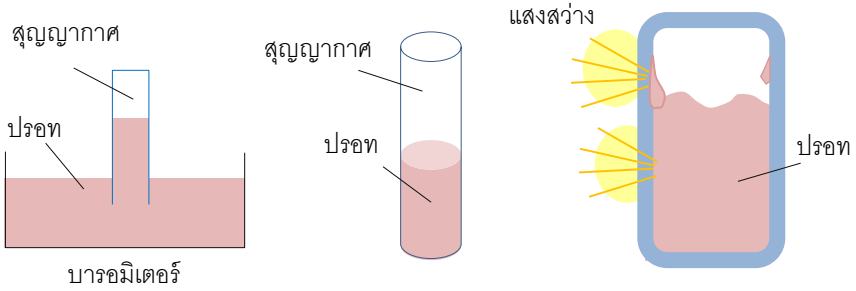
กิลเบิร์ตได้แบ่งสารออกเป็นสองชนิดคือ สารที่มีสมบัติทางไฟฟ้าและสารที่ไม่มีสมบัติทางไฟฟ้า สารที่ไม่มีสมบัติทางไฟฟ้าก็คือโลหะต่างๆ(ซึ่งต่อมาภายหลังได้มีการพิสูจน์ว่าไม่จริง การถูโลหะไม่อาจทำให้โลหะเกิดไฟฟ้าสถิตได้ก็จริง แต่การใช้ไฟให้ความร้อนกับโลหะก่อนแล้วค่อยถูทีหลังช่วยทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตได้ง่ายขึ้น ดังนั้นสารทุกชนิดมีอำนาจทางไฟฟ้าได้ขึ้นอยู่กับวิธีการทำให้เกิดไฟฟ้าสถิต) กิลเบิร์ตอธิบายที่มาของแรงดึงดูดว่า สารที่ถูกถูจะเกิดความร้อน ความร้อนนี้จะทำให้ตัวสารนั้นปล่อยไอออกมา ไอที่ออกมาจะทำหน้าที่ในการดึงดูดวัตถุเข้าไปหาตัวมัน ในสมัยของกิลเบิร์ตมีความเชื่อที่ว่า การทำให้วัตถุเคลื่อนที่ได้จะต้องมีการสัมผัสกันระหว่างวัตถุเท่านั้น เช่นลมพัดใบไม้เป็นการสัมผัสกันระหว่างลมกับใบไม้ ดังนั้นแรงที่เกิดจากไอที่ไม่ใช่อากาศจึงไม่เป็นที่ยอมรับกัน(การดึงดูดโดยแรงโน้มถ่วงก็ไม่มีการสัมผัสกันระหว่างวัตถุเช่นกัน)

ในปีค.ศ.1629 นิกโคโล คาเบโอ(Niccolo Cabeo,1586–1650)นักวิชาการทางด้านศาสนา วิศวกรและนักคณิตศาสตร์ชาวอิตาลีสังเกตถึงแรงผลักที่เกิดจากอำนาจทางไฟฟ้า คาเบโอ พบว่า เมื่อวัตถุเล็กๆถูกสารที่มีอำนาจทางไฟฟ้าดึงดูดเข้าไปแล้ว จะดีดตัวออกไปเสมือนว่าถูกผลัก แต่คาเบโอเชื่อว่าการที่เศษวัตถุเล็กๆถูกดูดและถูกผลักออกไปนั้นเกิดจากการหมุนวนของอากาศ โดยวัตถุที่มีอำนาจทางไฟฟ้าจะไล่อากาศรอบๆตัวมันออกไป ทำให้เกิดแรงผลักและมีอากาศบางส่วนที่หมุนวนเข้ามาที่เดิมทำให้เกิดแรงดูด คาเบโอจึงเชื่อว่าถ้าไม่มีอากาศเป็นตัวกลางแล้ว วัตถุที่มีอำนาจทางไฟฟ้าจะไม่สามารถดึงหรือผลักวัตถุเล็กๆที่อยู่รอบๆได้ แต่เนื่องจากสมัยนั้นยังไม่มีวิธีการนำอากาศออกไปจากบริเวณที่ต้องการได้ สมมุติฐานนี้จึงยังไม่ได้รับการพิสูจน์

จนกระทั่งในปีค.ศ.1672 ออตโต ฟอน เกอริค(Otto von Guericke,1602–1686)นักวิทยาศาสตร์และนักการเมืองชาวเยอรมันประดิษฐ์เครื่องสูบอากาศสำเร็จ ทำให้ในปีค.ศ.1675 โรเบิร์ต บอย (Robert boyle,1627–1691)นักเคมีและฟิสิกส์ชาวไอร์แลนด์ได้ทดลองและพบว่าการดึงดูดเกิดขึ้นได้ในสุญญากาศเช่นกัน(ปีค.ศ.1687 เป็นปีที่หนังสือ Principia ของนิวตันได้ตีพิมพ์ขึ้นมา)ต่อมามีการค้นพบว่าการดึงดูดระหว่างแท่งอำพันและวัตถุอื่นๆนั้นเป็นการดึงดูดแบบร่วมกัน โดยสมาชิกของสมาคมวิทยาศาสตร์ฟลอเรนทีนของอิตาลี การทดลองคือนำแท่งอำพันแขวนไว้ด้วยด้าย และมีการสังเกตว่านอกจากวัตถุเล็กๆจะวิ่งเข้าหาแท่งอำพันแล้ว แท่งอำพันก็ขยับเข้าหาวัตถุเล็กๆนั้นด้วย

การทดลองทางไฟฟ้าของฟรานซิส ฮอคสบี

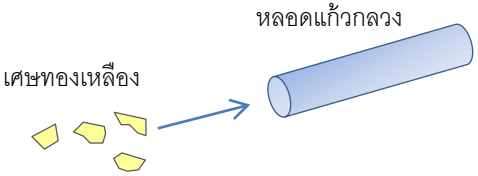
ในปีค.ศ.1705ฟรานซิส ฮอคสบี(Francis Hauksbee,1666–1713)นายช่างชาวอังกฤษได้ศึกษาการเกิดแสงสว่างภายในหลอดบรรจุปรอทซึ่งเป็นที่ทราบกันมานานแล้ว ตั้งแต่ปี 1675ว่าหลอดแก้วที่บรรจุปรอทเช่นในบารอมิเตอร์นั้นทำให้เกิดแสงสว่างวาบขึ้นได้เมื่อสั่นหรือเคลื่อนที่หลอดแก้ว



รูป 2.3

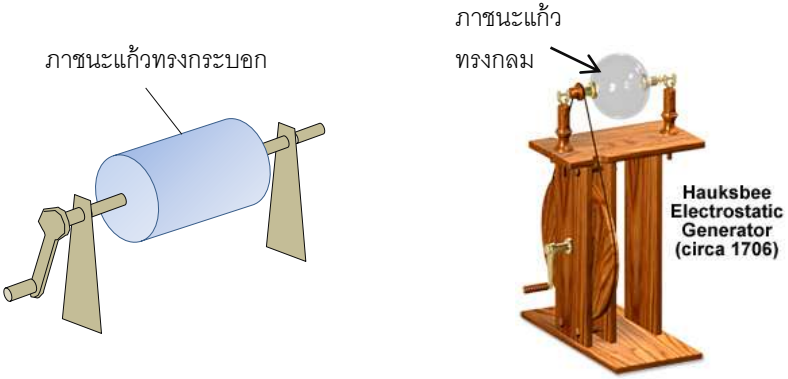
ฮอคสบีได้อธิบายการปลดปล่อยแสงว่า เป็นผลมาจากการกระเพื่อมของปรอทในหลอดแก้ว ทำให้ปรอทเสียดสีกับแก้วและเกิดแสงสว่างวาบขึ้น ส่วนปรอทที่หยุดนิ่งจะไม่ทำให้เกิดแสง (ปัจจุบันเป็นที่ทราบกันแล้วว่าแสงสว่างวาบเกิดจากประจุไฟฟ้าที่มาจากการเสียดสีระหว่างผนังแก้วกับปรอท) จากรูป2.3ข เป็นหลอดแก้วที่บรรจุปรอทและมีการสูบอากาศออกจากหลอดแก้วจนมีความดันที่ต่ำมาก ฮอคสบีได้ทำการทดลองและพบว่ายิ่งระดับความดันในหลอดแก้วต่ำลง จะเกิดประกายไฟเพิ่มมากขึ้น ส่วนหลอดแก้วที่ไม่ได้สูบอากาศออกเลยหรือมีความดันอากาศเท่ากับ1บรรยากาศจะเกิดประกายไฟน้อยมาก เขาได้ทำการทดลองอีกและพบว่าเมื่อถูหลอดแก้วในส่วนที่เป็นสุญญากาศด้วยมือก็พบว่ามีประกายไฟเกิดขึ้นเช่นกัน ฮอคสบียังค้นพบอีกว่าสารอื่นๆนอกจากปรอทและแก้วก็ทำให้เกิดแสงได้

ฮอคสบีพบว่าเมื่อนำหลอดแก้วซึ่งถูกด้วยกระดาษจนร้อนและนำไปจ่อที่เศษทองเหลืองซึ่งอยู่ไกลถึง10นิ้ว เศษทองเหลืองก็เริ่มขยับเข้ามาที่หลอดแก้ว และเมื่อถูหลอดแก้วมากเท่าใด ก็ยิ่งดึงเศษทองเหลืองที่อยู่ได้ไกลมากขึ้น และบางครั้งเศษทองเหลืองก็ถูกดูดติดที่หลอดแก้วนิ่งๆ บางครั้งก็ถูกผลักออกไป



รูป 2.4 การทดลองของฮอคสบี

ฮอคสบีสังเกตพบว่าหลอดแก้วที่ถูกจนร้อนจะทำให้เกิดไอน้ำกลั่นตัวที่หลอดแก้วและเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการทดลองเป็นอย่างมาก ซึ่งทำให้อำนาจทางไฟฟ้าน้อยลง ต่อมาฮอคสบีนำเครื่องทำสุญญากาศมาใช้ โดยดูดอากาศออกจากภาชนะแก้วที่เป็นลูกบอลเพื่อนำมาใช้ในการทดลอง ในปีค.ศ.1706ฮอคสบีได้ประดิษฐ์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิต(electrostatic generator)แบบแรงเสียดทานที่สะดวกกว่าการถูด้วยมือ เนื่องจากการทำให้สสารแสดงอำนาจทางไฟฟ้าโดยการถูวัตถุด้วยมือนั้นไม่สะดวกและสร้างไฟฟ้าได้น้อย เขาจึงนำภาชนะแก้วทั้งทรงกระบอกและทรงกลมมาหมุนและถ้าใช้มือวางลงไปก็จะได้อำนาจไฟฟ้าที่อยู่บนภาชนะนั้น



(ก) (ข)

รูป 2.5

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดนี้ได้ถูกสร้างมานานแล้วโดย ออตโต ฟอน เกอริค ผู้ประดิษฐ์เครื่องสูบอากาศ โดยเขาได้นำลูกบอลที่ทำด้วยซัลเฟอร์มาหมุนและใช้มือวางลงไป แต่ในตอนนั้นเกอริค สร้างลูกบอลชนิดนี้เพื่อการศึกษาเกี่ยวกับการหมุนของโลก ไม่ใช่เพื่อศึกษาเกี่ยวกับไฟฟ้า การใช้เครื่องกำนิดไฟฟ้าในการทดลองทำให้ฮอคสบีได้ทราบอีกว่าการเกิดแสงในหลอดแก้วสุญญากาศไม่จำเป็นต้องใช้มือถู เพียงแต่การนำหลอดแก้วสุญญากาศวางใกล้ๆกับลูกกลมแก้วที่กำลังถูกถูก็จะทำให้เกิดแสงในหลอดแก้วได้ซึ่งฮอคสบีไม่ทราบว่านี่คือการเกิดไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำ

ในปีค.ศ.1706 ฮอคสบีสร้างเครื่องวัดประจุแบบเส้นด้าย จากรูป2.6ก เมื่อนำเส้นด้ายมาแขวนรอบภาชนะแก้วทรงกระบอกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิต เมื่อภาชนะแก้วยังไม่มีอำนาจทางไฟฟ้า เส้นด้ายจะวางตัวในแนวเดียวกัน จากรูป2.6ข เมื่อหมุนภาชนะแก้วจนเกิดอำนาจทางไฟฟ้าบนแก้วจะทำให้ด้ายถูกดึงเข้าไปสู่ภาชนะแก้ว เครื่องมือชนิดนี้เรียกว่า**อิเล็กโตรสโคปเส้นด้าย** ซึ่งต่อมาการเรียงตัวของเส้นด้ายเรียกได้ว่าเป็นเส้นทางของสนามไฟฟ้านั่นเอง

การทดลองทางไฟฟ้าของเบนจามิน แฟรงคลิน

(ก) Benjamin Franklin

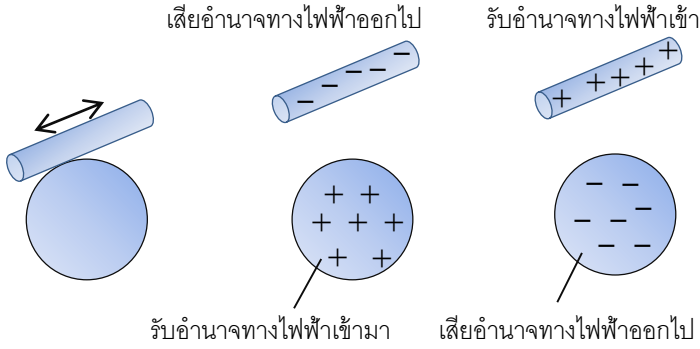
(ข) แฟรงคลินขณะทำการทดลอง

รูป 2.17

ความรู้ทางด้านไฟฟ้าได้แพร่ไปสู่อเมริกาจนนำไปสู่ความสนใจของเบนจามิน แฟรงคลิน (Benjamin Franklin,1706–1790)นักวิทยาศาสตร์ นักธุรกิจและนักหนังสือพิมพ์ชาวอเมริกัน เบนจามิน แฟรงคลินได้ศึกษาปรากฏการณ์ฟ้าผ่าและสายล่อฟ้า นอกจากนั้นยังศึกษาปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าสถิตอีกด้วย แฟรงคลินเริ่มศึกษาเกี่ยวกับอำนาจทางไฟฟ้าในปี ค.ศ.1743 โดยได้พบกับ ดร.สเปนเซอร์(Dr.Spencer)ซึ่งได้ให้ความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าและทำให้เขาเกิดความสนใจขึ้นมา

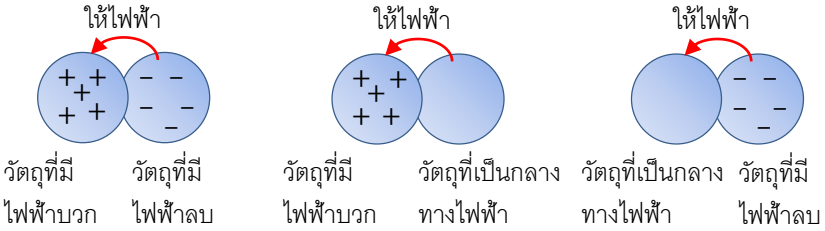
ทฤษฎีของไหลไฟฟ้าชนิดเดียวของแฟรงคลินและไฟฟ้าสองชนิดของดูเฟย์ต่างก็ถูกต้องคนละแบบ ดูเฟย์ได้จัดไฟฟ้าออกเป็นสองประเภทคือไฟฟ้าแบบแก้วและไฟฟ้าแบบยางไม้ ไฟฟ้าแบบแก้วจะผลักกับไฟฟ้าแบบแก้ว ส่วนไฟฟ้าแบบยางไม้จะผลักกับไฟฟ้าแบบยางไม้ สำหรับไฟฟ้าแบบแก้วจะดูดกับไฟฟ้าแบบยางไม้ และในบางกรณีแก้วก็สามารถทำให้เป็นไฟฟ้าแบบยางไม้ได้ถ้าชนิดของวัสดุที่นำมาถูเหมาะสม

สรุปก็คือดูเฟย์แยกไฟฟ้าออกเป็นสองประเภทอันเนื่องมาจากแรงดูดและแรงผลัก สำหรับเบนจามินแฟรงคลินอธิบายการไหลของไฟฟ้าโดยที่ไม่ได้ศึกษาหลักการของดูเฟย์ แฟรงคลินอธิบายตามผลการทดลองของตัวเอง แฟรงคลินเชื่อว่าการเกิดอำนาจทางไฟฟ้านั้นมาจากการถ่ายเทไฟฟ้าจากวัตถุหนึ่งไปสู่อีกวัตถุหนึ่ง การถูวัตถุเพื่อให้เกิดการดึงดูดนั้น ไม่ใช่การสร้างไฟฟ้าขึ้นมาใหม่ แฟรงคลินจึงเชื่อว่าไฟฟ้านั้นมีเพียงชนิดเดียว โดยในสภาพปกติของสสารจะมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า เมื่อนำวัตถุมาขัดถูกันจะทำให้ไฟฟ้าจากสารหนึ่งไหลไปยังอีกสารหนึ่ง



รูป 2.18

จากรูป2.18 เมื่อวัตถุที่ไม่แสดงอำนาจทางไฟฟ้าถูกถู วัตถุนั้นจะได้รับไฟฟ้าเกินเข้ามา วัตถุที่รับอำนาจทางไฟฟ้าเข้ามาก็จะมีอำนาจเป็นบวก ส่วนวัตถุที่สูญเสียไฟฟ้าออกไปจะขาดไฟฟ้าซึ่งแทนด้วยเครื่องหมายลบ ทั้งไฟฟ้าบวกและไฟฟ้าลบต่างก็ดึงดูดกันรวมทั้งดึงดูดวัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้า ไฟฟ้าแบบลบจะผลักกับไฟฟ้าแบบลบ ไฟฟ้าแบบบวกจะผลักกับไฟฟ้าบวก โดยสรุปก็คือไฟฟ้าแบบเดียวของแฟรงคลินมีความหมายถึงการไหลของไฟฟ้าที่นำไปสู่การเพิ่มหรือลดปริมาณทางไฟฟ้านั่นเอง หลักการของแฟรงคลินนั้นเป็นการอธิบายที่ชัดเจนมากที่สุดเกี่ยวกับการไหลของไฟฟ้า การที่แฟรงคลินอธิบายว่าของไหลไฟฟ้าไม่ได้ถูกสร้างขึ้นมาใหม่แต่เป็นเพียงการถ่ายเทไฟฟ้าระหว่างวัตถุ ทำให้เกิดหลักการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า (Principle of conservation of electric charge)ซึ่งหมายความว่า เมื่อไฟฟ้าถูกถ่ายเทจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่ง ปริมาณไฟฟ้าที่วัตถุหนึ่งเสียไป จะเท่ากับปริมาณไฟฟ้าที่อีกวัตถุหนึ่งรับเข้าไป



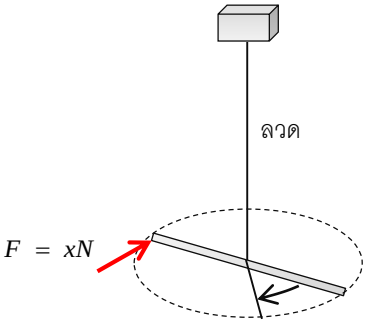
รูป 2.19

ความรู้ในปัจจุบันหลังการค้นพบอิเล็กตรอนก็คือ การรับอำนาจไฟฟ้าเข้ามาหมายถึงการรับอิเล็กตรอนเข้ามาทำให้วัตถุมีอำนาจไฟฟ้าเป็นลบส่วนการเสียอิเล็กตรอนออกไปทำให้วัตถุมีอำนาจทางไฟฟ้าเป็นบวก ดังรูปที่2.19 ดังนั้นทิศทางการไหลของอิเล็กตรอนจะตรงข้ามกับการทฤษฎีของไหลไฟฟ้าของแฟรงคลิน

การทดลองวัดแรงทางไฟฟ้าของคูลอมบ์โดยใช้เครื่องชั่งแบบบิด

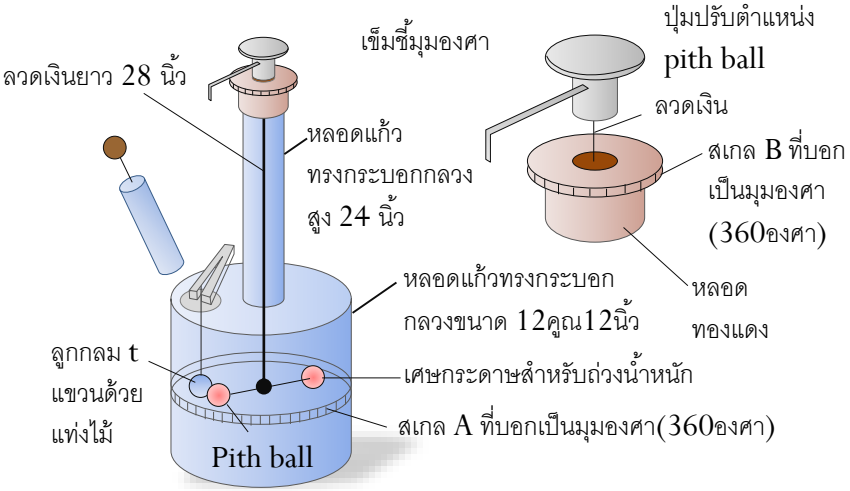
ความพยายามที่จะวัดแรงทางไฟฟ้าประสบความสำเร็จในปีค.ศ.1784 โดยชาร์ลส์ ออกัสติน คูลอมบ์ (Charles Augustin de Coulomb,1736–1806)อาชีพของคูลอมบ์คือวิศวกรทหาร คูลอมบ์ได้พบว่าเครื่องชั่งแบบบิด(Torsion balance)มีความเหมาะสมที่จะวัดแรงที่มีปริมาณต่ำๆได้ จากรูป2.25ข เครื่องชั่งแบบบิดประกอบด้วยคานที่มีน้ำหนักเบา ที่มัดด้วยลวดตรงกลาง เมื่อใส่แรงที่ปลายคานด้านใดด้านหนึ่ง คานจะหมุนเป็นวงกลม ปริมาณแรงจะบอกได้โดยค่าของมุมที่คานบิดไป เช่นเมื่อใส่แรงขนาด x นิวตัน จะทำให้คานบิดไปเป็นมุม θ ดังนั้นเมื่อคานบิดไปด้วยมุมที่มากหรือน้อยกว่า θ ก็สามารถคำนวนหาแรงที่กระทำต่อคานได้ เขาจึงพัฒนาเครื่องชั่งแบบบิดมาใช้วัดแรงทางไฟฟ้า และนำเสนอต่อสมาคมฝรั่งเศสในปีค.ศ.1785

(ก) Charles Augustin de Coulomb



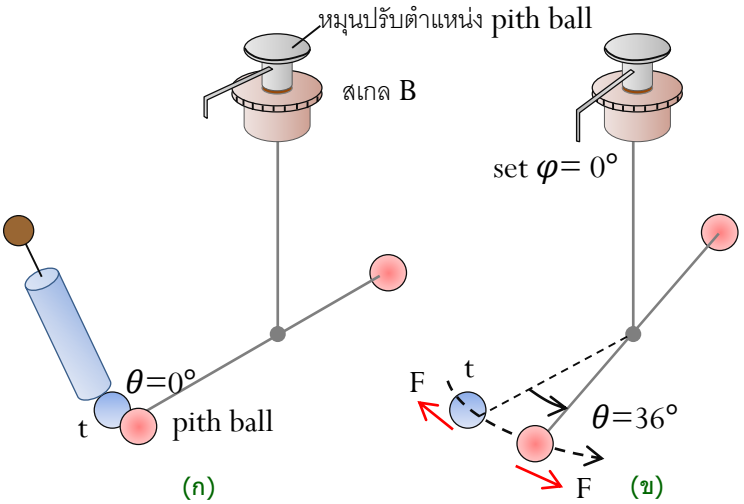
(ข) หลักการของเครื่องชั่งแบบบิด

รูป 2.25



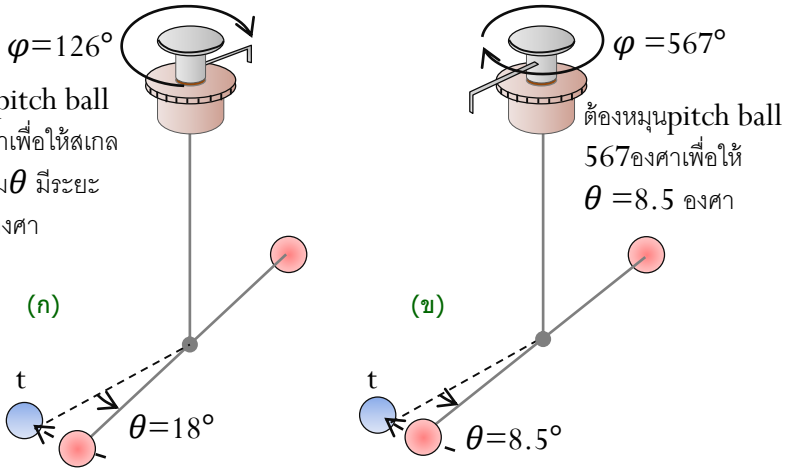
รูป 2.26

ก่อนการทดลองคือจัดตำแหน่งลูกpith ball ให้สัมผัสพอดีกับลูกบอลt ที่แขวนในแนวดิ่ง ตำแหน่งที่Pith ball อยู่นี้จะอยู่ที่มุมศูนย์องศาของสเกลA สำหรับปุ่มปรับตำแหน่งpith ball นั้นเมื่อถูกหมุนจะทำให้pith ball หมุนตามไปด้วย คูลอมบ์ได้พบว่าแรงที่ต้องใช้หมุน pith ball ให้บิดไป360 องศาเทียบกับสเกลB จะเท่ากับ1/340 เกรน



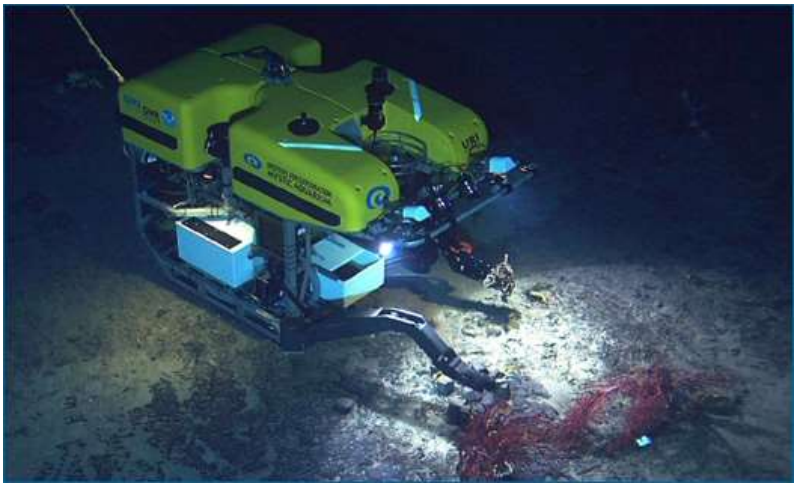
รูป 2.27

ขั้นตอนการทดลองคือ1.นำวัตถุที่มีอำนาจทางไฟฟ้ามาแตะกับลูกบอลt และดึงออกดังรูปที่ 2.27ก ลูกบอลทั้งสองที่สัมผัสกันอยู่แล้วจะได้รับอำนาจทางไฟฟ้าชนิดเดียวกันและหลังจากนั้นจะเริ่มผลักออกจากกันด้วยแรงF ดังรูปที่2.27ข การผลักกันของลูกบอลทั้งสองจะเท่ากับ 36 องศาที่วัดได้จากสเกลA ซึ่งในตำแหน่งนี้เข็มของสเกลB จะถูกปรับให้อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์องศา



รูป 2.28

บทที่ 3
พลังงาน



พลังงานในความหมายที่ง่ายที่สุดเป็นการใช้ประโยชน์จากสิ่งใดสิ่งหนึ่งไม่ว่าจะเป็น อิเล็กตรอน น้ำมัน หรือความร้อน(คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า)คือพลังที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อสสารหรือต่อพลังงานด้วยกัน เช่นการทำให้น้ำเดือดต้องใช้พลังงานความร้อน เครื่องร่อนใช้พลังงานลม รถยนต์ที่กำลังเคลื่อนที่จะใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง ขณะเดียวพลังงานก็ถูกตีความหมายอีกแบบในเชิงการเคลื่อนไหวของวัตถุเช่น รถยนต์ที่กำลังเคลื่อนที่มีพลังงานจลน์เท่ากับ $1/2\ mv^2$ วัตถุที่เคลื่อนที่เร็วจะมีพลังงานจลน์สูงเป็นต้น

พลังงานจลน์(Kinetic Energy)

พลังจลน์เป็นพลังงานของวัตถุในขณะที่วัตถุกำลังเคลื่อนที่ เราไม่รู้ว่าพลังงานจลน์คืออะไร เรารู้แค่ว่าวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ย่อมมีพลังงานจลน์ พลังงานจลน์จะเปลี่ยนไปเมื่อวัตถุมีการเพิ่มหรือลดความเร็ว ดังนั้นพลังงานจลน์จึงเป็นพลังงานชั่วขณะที่เวลาใดๆ มีค่าเปลี่ยนแปลงตามความเร็วของวัตถุ วัตถุที่หยุดนิ่งพลังงานจลน์จะเป็นศูนย์ พลังงานจลน์ใช้สัญลักษณ์Kมีหน่วยเป็นจูล(J)หรือนิวตันเมตร($N \cdot m$) พลังงานจลน์ของวัตถุหาได้จากมวลของวัตถุคูณกับความเร็วของวัตถุยกกำลังสองและหารด้วยสองดังสมการ

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

จากสมการเราจะตีความได้ว่าวัตถุที่มีความเร็วสูงหมายถึงมีพลังงานจลน์สูง(มวลคงที่)

พลังงานศักย์โน้มถ่วง(Potential Energy)

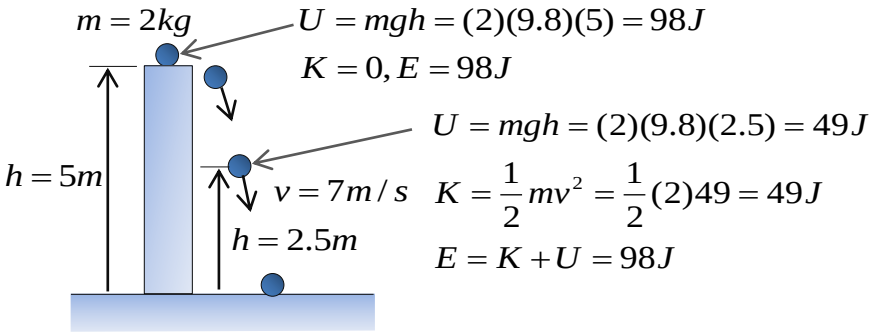
พลังงานศักย์ของวัตถุหาได้จากน้ำหนักของวัตถุคูณกับความสูงดังสมการ

$$U = mgh$$

ใช้สัญลักษณ์U มีหน่วยเป็นจูล(J) จากสมการเราจะตีความได้ว่า ถ้าวัตถุอยู่สูงจากพื้นมากขึ้นเรื่อยๆ พลังงานศักย์โน้มถ่วงของวัตถุจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆเมื่อนำพลังงานศักย์รวมกับพลังงานจลน์ ก็จะได้เป็นพลังงานรวม(E)ดังสมการ

$$E = K + U$$

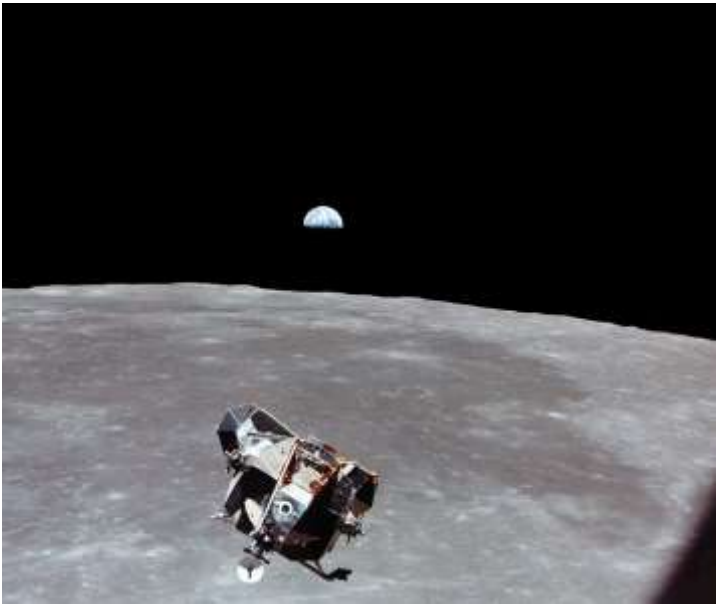
พลังงานรวมของวัตถุจะไม่เปลี่ยนแปลงในขณะที่วัตถุยังไม่มีการถ่ายโอนพลังงาน จากรูป 3.1วัตถุมวล2 กิโลกรัม วางอยู่บนตำแหน่งที่มีความสูงเท่ากับ5เมตร ขณะที่วัตถุยังไม่หล่นลงมา วัตถุจะมีพลังงานศักย์ประมาณเท่ากับ98จูลและจุดนี้เป็นจุดที่วัตถุไม่เคลื่อนที่ พลังงานจลน์จะเป็นศูนย์ ดังนั้นจะได้พลังงานรวมเท่ากับพลังงานศักย์คือ98จูล



รูป 3.1

บทที่ 4

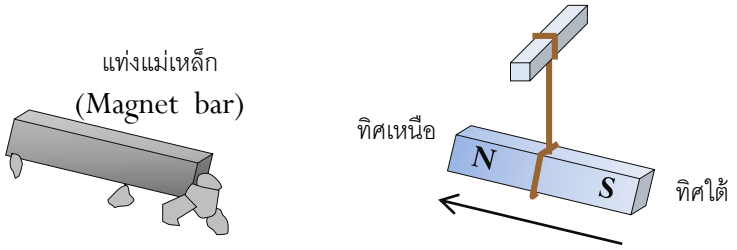
ฟิสิกส์ยุคใหม่



ฟิสิกส์ยุคใหม่มีความหมายที่กว้างมาก เป็นฟิสิกส์ที่ว่าด้วยอะตอม, การแผ่รังสีของวัตถุ,ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก หรือแม้กระทั่งทฤษฎีใหม่ๆเกี่ยวกับดาราศาสตร์เช่นการขยายตัวของเอกภพ ทฤษฎีสัมพัทธภาพและกลศาสตร์ควอนตัมก็ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของฟิสิกส์ยุคใหม่ เนื่องจากแต่ละทฤษฎีมีเนื้อหามากทำให้ทฤษฎีต่างๆถูกตีพิมพ์แยกออกจากกัน ในบทนี้จะอธิบายเกี่ยวกับนิยามและการค้นพบที่สำคัญๆบางส่วนเกี่ยวกับสนามแรงและอะตอม

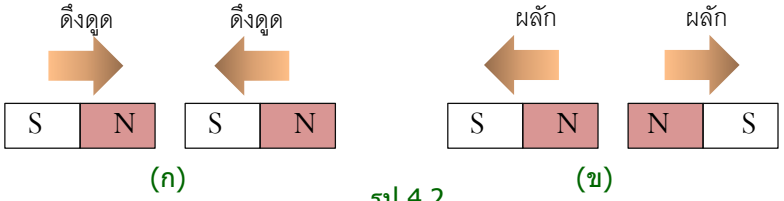
สนามแม่เหล็ก(Magnetic Fields)

แม่เหล็กคือวัตถุที่สามารถดูดเหล็กและเหนี่ยวนำให้เหล็กเป็นแม่เหล็กได้ มนุษย์พบแม่เหล็กครั้งแรกในสภาพสินแม่เหล็ก เรียกว่าLoadstone ซึ่งเป็นแท่งแมกนิไทต์หรือเรียกว่า Leadingstone แปลว่าหินนำทาง ความสามารถของสินแร่นี้คือสามารถดึงดูดเศษเหล็กที่วางอยู่ใกล้ๆได้ และชาวจีนได้นำสินแร่นี้บอกทิศเหนือ-ใต้ เมื่อนำแท่งแม่เหล็กแขวนด้วยเชือกเพื่อให้แกว่งหรือหมุนได้คล่อง เมื่อแท่งแม่เหล็กหยุดนิ่ง แม่เหล็กจะวางตัวในแนวเหนือ-ใต้ เรียกปลายที่ชี้ไปทางทิศเหนือว่าขั้วเหนือ(north pole)และเรียกปลายที่ชี้ไปทางทิศใต้ว่าขั้วใต้(south pole) การที่แม่เหล็กวางตัวอยู่ในแนวเหนือใต้เสมอแม่เหล็กจึงถูกนำไปใช้สร้างเข็มทิศเพื่อนำทางเช่นในการเดินเรือทางทะเล สำหรับในยุโรปยุคที่มีการบันทึกเกี่ยวกับอำนาจของสินแร่เหล็กไว้คือยุคเพลโต(Plato)เมื่อ400ปีก่อนคริสต์ศักราช สิ่งที่สังเกตพบในพฤติกรรมของแท่งแม่เหล็กคือ เมื่อนำขั้วเหนือกับขั้วใต้มาใกล้กัน แท่งแม่เหล็กจะดึงดูดกันและเมื่อนำขั้วเหนือกับขั้วเหนือมาใกล้กันแท่งแม่เหล็กจะผลักกัน จึงสรุปได้ว่าแท่งแม่เหล็กขั้วต่างกันดึงดูดกันและขั้วเหมือนกันผลักกัน สนามแรงแม่เหล็กจะดึงดูดเฉพาะเหล็กด้วยกันเท่านั้น และในระยะที่ไกลออกไป แรงดึงดูดจะลดลงเรื่อยๆ



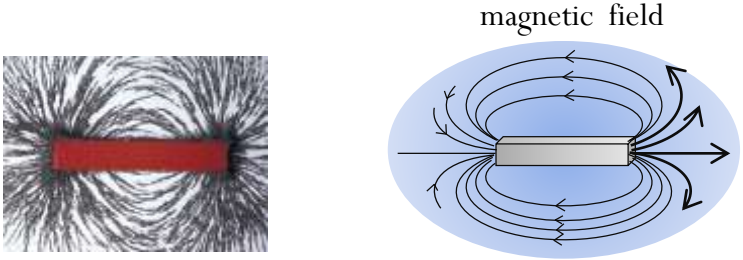
รูป 4.1

เมื่อแท่งเหล็กถูกแม่เหล็กดึงดูด แท่งเหล็กจะถูกเหนี่ยวนำให้กลายเป็นแม่เหล็กชั่วคราวและสามารถดึงดูดเศษเหล็กได้เหมือนแม่เหล็ก แต่เมื่อนำแท่งเหล็กออกไป ก็จะกลายเป็นเหล็กธรรมดา เหล็กธรรมดาจะมีสนามแม่เหล็กอยู่ตลอดเวลาเช่นกัน สังเกตได้จากผงเหล็กมักจะมักจะยึดเกาะอยู่กับเหล็ก การที่แท่งแม่เหล็กวางตัวอยู่ในแนวทิศเหนือและทิศใต้อยู่เสมอ ก็เนื่องจากถูกเบนโดยทิศทางของสนามแม่เหล็กโลก ซึ่งโลกก็เปรียบเสมือนแท่งแม่เหล็กขนาดใหญ่นั่นเอง



รูป 4.2

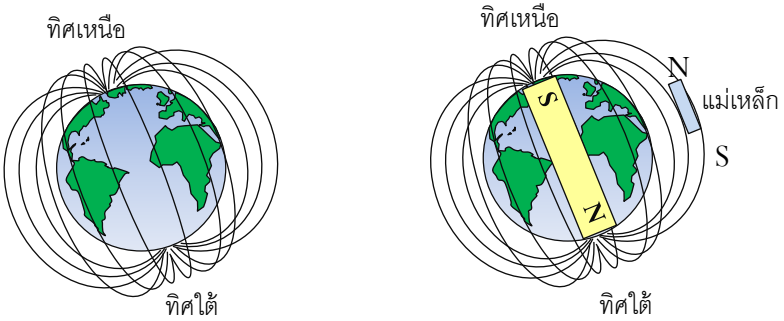
การที่แม่เหล็กดึงดูดเหล็กได้แสดงว่ามีแรงกระทำต่อเหล็ก ที่มาจากแท่งแม่เหล็ก เช่นเดียวกับที่เราถูกดึงดูดโดยแรงโน้มถ่วงของโลก แรงที่แม่เหล็กส่งออกมาถูกนิยามว่าเป็นสภาพที่มีสนามแม่เหล็กอยู่ และจะมีผลต่อเหล็กด้วยกันเท่านั้น เราไม่อาจเข้าใจได้ว่าตัวตนของสนามแม่เหล็กเป็นยังไง เรารู้จักมันผ่านผลลัพธ์ที่มันกระทำต่อสิ่งอื่นเท่านั้น ทิศทางของสนามแม่เหล็กมาจากการนำผงเหล็กมาวางในที่ว่างรอบๆแม่เหล็กและผงเหล็กจะจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ ดังนั้นทิศทางของสนามแม่เหล็กก็คือทิศทางการเรียงตัวกันของผงเหล็กรอบๆแท่งแม่เหล็กนั่นเอง ซึ่งการเรียงตัวของเศษเหล็กรอบๆแท่งแม่เหล็กนั้น วิลเลียม กิลเบิร์ตได้แสดงไว้ในหนังสือ On the magnet เมื่อปีค.ศ.1600 มาแล้ว



(ก) (ข)

รูป 4.3

ในกรณีของสนามแรงแม่เหล็ก ปัญหาพื้นฐานที่มีมานานก็คืออะไรเป็นตัวดึงดูดให้เศษเหล็กติดกับแท่งแม่เหล็กได้โดยที่เรามองไม่เห็น แสดงว่ามีสิ่งๆหนึ่งที่มองไม่เห็นแต่มีอำนาจทำให้เกิดการเคลื่อนที่ที่มาจากตัวแท่งแม่เหล็ก เรารู้ว่าแท่งแม่เหล็กต้องปล่อยอะไรบางอย่างออกมาแน่นอน ซึ่งเป็นสิ่งที่อยู่นอกเหนือการรับรู้โดยประสาทสัมผัสของเรา

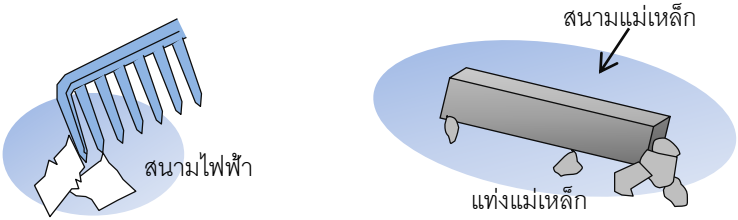


(ก) (ข)

รูป 4.4

รูปที่4.4 เป็นสนามแม่เหล็กของโลก การค้นพบว่าสนามแม่เหล็กเป็นผลมาจากการหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอนทำให้เรารู้ว่าสนามแม่เหล็กโลกมาจากอิเล็กตรอนของโลหะเหลวภายใต้เปลือกโลก

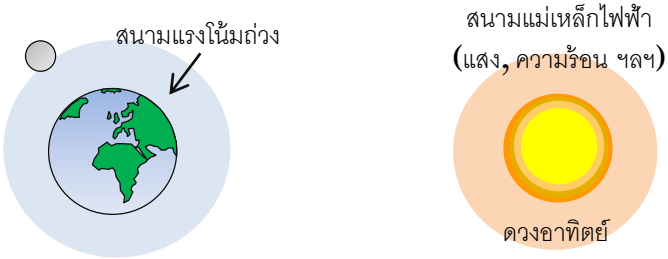
สนามคล้ายกับสิ่งที่เรียกว่าความร้อน เรามองไม่เห็นความร้อนแต่เรารู้สึกได้เมื่อกระทบกับมัน ที่แตกต่างกันก็คือ สิ่งที่ออกมาจากแท่งแม่เหล็กนั้นเราไม่รู้สึกถึงมัน เพราะมันจะมีผลต่อเหล็กด้วยกันเท่านั้น ส่วนหวีที่ถูกับเส้นผมสามารถดูดเศษกระดาษให้มาติดได้ นอกจากดึงดูดแล้วยังมีอำนาจผลักต่อหวีอันอื่นที่ถูกถูอีกด้วยซึ่งคล้ายคลึงกับแท่งแม่เหล็ก แต่หวีมีผลดึงดูดและผลักต่อวัตถุทุกอย่างรวมทั้งเหล็กด้วย และเช่นเดียวกับที่โลกดึงดูดเรา มีอะไรบางอย่างที่ดึงดูดเรา และมีผลกับวัตถุทุกสิ่ง ทุกวันนี้เราเรียกสิ่งเหล่านี้ว่า สนามแม่เหล็ก,สนามไฟฟ้า, สนามแม่เหล็กไฟฟ้า และสนามแรงโน้มถ่วง สนามทั้งหมดนี้รวมเรียกเป็นชื่อเดียวกันว่า สนามแรง (force fields) ซึ่งเป็นสิ่งที่มองไม่เห็นแต่มีพลังอำนาจที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ สนามแรงในธรรมชาติมี4ชนิดด้วยกันคือ1.สนามแม่เหล็กไฟฟ้า(สนามแม่เหล็กกับสนามไฟฟ้ารวมกันเรียกว่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า)2.สนามแรงโน้มถ่วง3.สนามแรงแบบเข้มและ 4.สนามแรงแบบอ่อน



(ก) (ข)

รูป 4.5

จากรูป4.5 เป็นแบบจำลองสนามแรงที่เกิดขึ้นรอบๆวัตถุ รูปทรงสีจางๆรอบๆวัตถุหมายถึงสนามแรงที่แผ่ออกมาจากวัตถุและมีอาณาเขตของสนามที่ไม่สิ้นสุด เพียงแต่ในระยะที่ไกลออกไปอำนาจแรงลดจะต่ำลงมาก แม่เหล็กจึงไม่อาจดึงเศษเหล็กที่อยู่ในระยะทางไกลๆได้ ยิ่งสนามแรงห่างจากจุดกำเนิดมากเท่าใดอำนาจหรือความรุนแรงก็จะมีน้อยลง



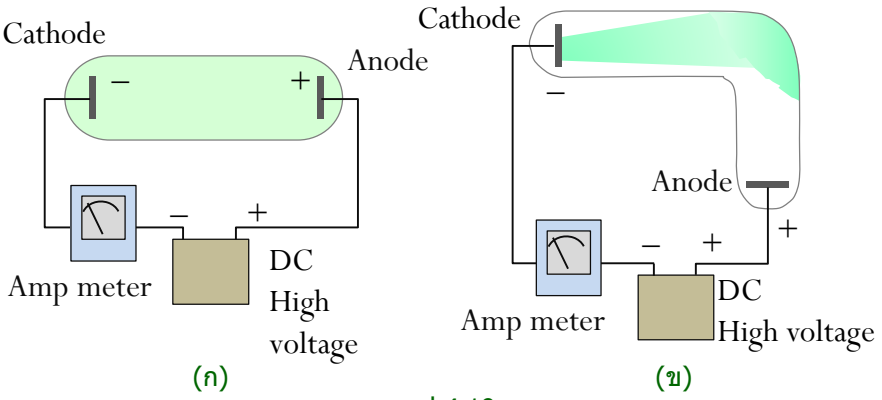
(ก) (ข)

รูป 4.6

รูป4.6ก โลกดึงดูดดวงจันทร์ในทิศทางเข้าสู่ศูนย์กลาง 4.6ข ดวงอาทิตย์ส่งแสงและความร้อนออกมา

หลอดรังสีแคโทด(Cathode–Ray Tube ,CRT)

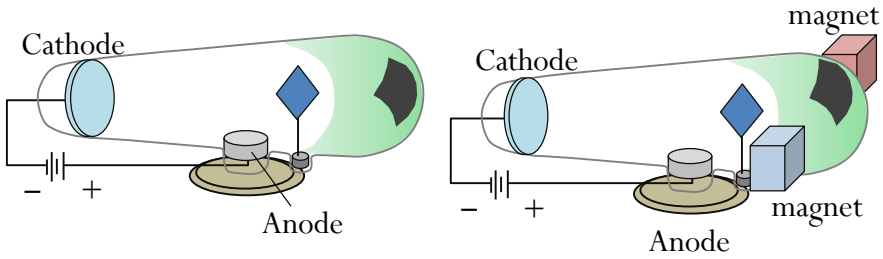
รังสีแคโทดถูกค้นพบเป็นครั้งแรกโดย จูเลียส พลังเกอร์(Julius Plucker,1801–1868) นักคณิตศาสตร์และนักฟิสิกส์ชาวเยอรมันและโจฮัน ฮิตทรอฟ(Johann Wilhelm Hittorf,1824–1914) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ก่อนหน้านั้นในปี ค.ศ.1855 ไฮนริช ไกสเลอร์(Johann Heinrich Wilhelm Geissler,1814–1879)นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันได้ประดิษฐ์ปั๊มสุญญากาศที่สามารถสูบอากาศออกจากหลอดแก้วได้ จากนั้น จูเลียส พลังเกอร์ ได้นำหลอดสุญญากาศไปทดลองการไหลของกระแสไฟฟ้าในสุญญากาศดังรูป4.19ก จูเลียสได้ใส่แผ่นตัวนำสองแผ่นที่ปลายของหลอดทั้งสองข้างและต่อตัวนำทองแดงออกมายังแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงและมีแอมมิเตอร์เพื่อวัดกระแสไฟฟ้าในวงจรด้วย แผ่นตัวนำที่ต่อกับขั้วบวกเรียกว่า แอโนด ส่วนแผ่นตัวนำที่ต่อกับขั้วลบเรียกว่า แคโทด จูเลียส พลังเกอร์ ได้อธิบายในเอกสารที่ตีพิมพ์ในค.ศ.1858 ว่า หลังจากผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในวงจรก็พบว่า เกิดแสงสีเขียวจางๆบนพื้นผิวของหลอดแก้วทันที ซึ่งคาดว่าแสงสีเขียวนี้เกิดจากเนื้อแก้ว



รูป 4.19

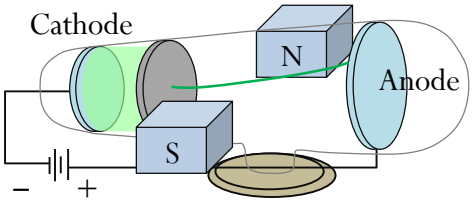
ล่วงเลยมาถึงปีค.ศ.1875 รังสีแคโทดถูกศึกษาอย่างจริงจังโดย เซอร์ วิลเลียม ครุกส์(Sir William Crookes,1832–1919)นักเคมีและนักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ ครุกส์ได้ใช้หลอดสุญญากาศงอแทนหลอดสุญญากาศตรงและได้พบว่าแสงสีเขียวมีความเข้มข้นไม่เท่ากัน โดยมีความเข้มมากที่สุดตรงจุดที่หลอดงอ แสดงว่ามีบางสิ่งถูกปล่อยออกมาจากแผ่นตัวนำทั้งสองฝั่งและเดินทางเป็นเส้นตรง และมีการสังเกตเห็นว่า บางสิ่งที่ถูกปล่อยออกมานี้มาจากแผ่นตัวนำแคโทดและวิ่งไปยังแผ่นตัวนำแอโนด ต่อมาอูเยน โกลด์สโตน์(Eugen Goldstein,1850–1930)นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันได้ศึกษาการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในหลอดสุญญากาศที่ใส่แก๊สเข้าไปด้วย โกลด์สโตน์เรียกสิ่งที่ปล่อยออกมาจากแผ่นแคโทดว่า รังสีแคโทด(cathode ray)การที่รังสีแคโทดคล้ายกับคลื่นแสงมากทำให้นักวิทยาศาสตร์บางส่วนคิดว่ารังสีแคโทดคือคลื่นแสงชนิดหนึ่ง

ครุกส์ได้ทดลองต่อโดยนำแผ่นวัตถุมาขวางทางรังสีแคโทด และพบว่าเกิดเป็นเงาของแผ่นวัตถุนั้นที่ปลายหลอด จึงสรุปได้ว่ารังสีแคโทดคล้ายแสงสว่างและเดินทางเป็นเส้นตรง



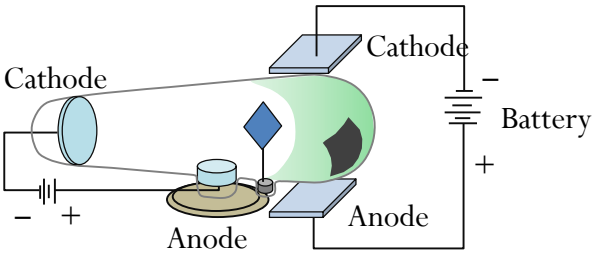
รูป 4.20

ครุกส์ทดลองต่อโดยนำแท่งแม่เหล็กเข้ามาใกล้หลอดและพบอีกว่าเงาของแผ่นวัตถุเลื่อนไปจากตำแหน่งเดิม จึงสรุปได้ว่าสนามแม่เหล็กสามารถเปลี่ยนเส้นทางของรังสีแคโทดได้ สำหรับสนามไฟฟ้านั้นครุกส์ได้ตั้งสมมุติฐานเอาไว้ว่าสามารถเปลี่ยนเส้นทางของรังสีแคโทดได้เช่นกัน แต่ไม่ได้ทำการทดลอง การที่สนามแม่เหล็กไม่สามารถเปลี่ยนเส้นทางเดินของแสงได้ทำให้แนวคิดที่ว่ารังสีแคโทดคือคลื่นแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นตกไป



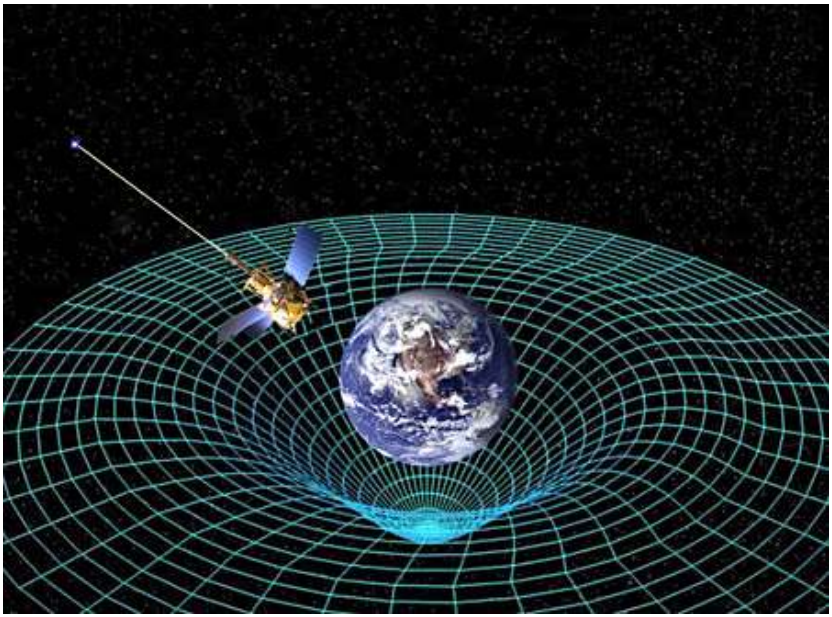
รูป 4.21

ต่อมานักฟิสิกส์ได้ทำการทดลองและพบว่าสนามไฟฟ้าสามารถเบี่ยงเบนรังสีแคโทดได้ จากรูป4.22 เมื่อนำแผ่นตัวนำสองแผ่นที่ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟ มาวางอยู่ระหว่างเส้นทางเดินของรังสีแคโทด ในกรณีนี้รังสีแคโทดจะเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าเงาของแผ่นกั้นเลื่อนไปทางด้านแผ่นตัวนำที่เป็นขั้วบวก ดังนั้นรังสีแคโทดจะต้องเป็นรังสีที่มีประจุเป็นลบนั่นเอง



รูป 4.22

บทที่ 5
ทฤษฎีสัมพัทธภาพ

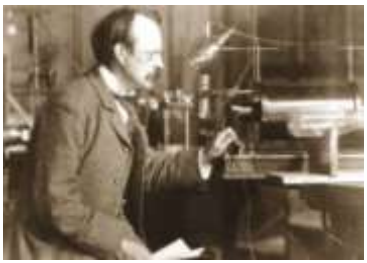


ในระหว่างที่การศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของอะตอมกำลังดำเนินไปอย่างต่อเนื่องนั้น ในปีค.ศ.1905 อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันได้เสนอทฤษฎีสัมพัทธภาพภาคพิเศษ(Special Relativity Theory)ทำให้ฟิสิกส์เกี่ยวกับอวกาศและเวลาได้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมหาศาลนับตั้งแต่นั้นมา

ในระหว่างที่การศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของอะตอมกำลังดำเนินไปอย่างต่อเนื่องนั้น ในปี ค.ศ.1905 อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์(Albert Einstein,1879–1955)นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันได้เสนอทฤษฎีสัมพัทธภาพภาคพิเศษ(Special Relativity Theory)ทำให้ฟิสิกส์เกี่ยวกับอวกาศและเวลาได้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมหาศาลนับตั้งแต่นั้นมา ในกลศาสตร์ยุคเก่ามวลเป็นสิ่งสัมบูรณ์ หมายถึงไม่มีการเปลี่ยนแปลง สอดคล้องกับกฎทรงมวลของสสารที่เสนอโดย จอห์น ดาลตัน(John Dalton,1766–1844)นักเคมีและนักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ ในปี ค.ศ.1808 ที่กล่าวว่าสสารจะเกิดขึ้นใหม่หรือทำลายไม่ได้ ความเป็นสิ่งสัมบูรณ์ของมวลสารนั้นไม่ผิด แต่ก็ไม่ถูกต้องเสมอไป ทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์มักจะมีขอบเขตเสมอ หมายถึงถูกต้องในระดับหนึ่งและใช้ได้กับเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่ง แต่ไม่อาจใช้ได้กับทุกเหตุการณ์ ทฤษฎีสัมพัทธภาพได้อธิบายถึงขอบเขตของวิทยาศาสตร์ยุคเก่าได้เป็นอย่างดี

ในปีค.ศ.1897 เจเจ ทอมสัน(J.J.Thomson,1856–1940) นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษได้ทดลองว่าสนามไฟฟ้าสามารถเบี่ยงเบนรังสีแคโทดได้ และค้นพบว่ารังสีแคโทดคืออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเป็นลบซึ่งก็คืออิเล็กตรอนนั่นเอง และในปีเดียวกันนั้นเองทอมสันประสบความสำเร็จในวัดค่าประจุต่อมวล(q/m หรือ e/m)ของอิเล็กตรอน ค่า e/m หรือ q/m ที่ทอมสันคำนวณได้คือ

$$\frac{e}{m} = 1.758820174\,(71)\times 10^{11}\ \ C/kg$$



รูป 5.1
Sir Joseph John
''J.J.'' Thomson

ในช่วงปี ค.ศ.1900–1910 นักฟิสิกส์ได้พบว่าค่าอัตราส่วนของประจุไฟฟ้าต่อมวลของอิเล็กตรอน(q/m) ของเจ เจ ทอมสัน ที่วัดได้นั้นสามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับความเร็วของอิเล็กตรอน ค่าq/m ที่เจ เจ ทอมสันหาได้เป็นค่าความเร็วของอิเล็กตรอนในระดับต่ำซึ่งเป็นค่าความเร็วอยู่ที่ในการทดลองนั้นๆ ภายใต้สนามไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์ค่าหนึ่ง แต่หลังจากเพิ่มแรงดันเพื่อเร่งอิเล็กตรอนทำให้อิเล็กตรอนมีความเร็วมากขึ้น ค่าq/mจะลดลง หมายความว่าถ้าอิเล็กตรอนมีความเร็วมากขึ้น มวลm ของอิเล็กตรอนจะเพิ่มขึ้นทำให้ q/m มีค่าลดลงเนื่องจากประจุของอิเล็กตรอนคงที่

ปัญหาคือเมื่ออิเล็กตรอนมีความเร็วมากขึ้น ทำไมอิเล็กตรอนจึงมีมวลเพิ่มขึ้น แล้ววัตถุอื่นๆจะมีพฤติกรรมเช่นเดียวกับอิเล็กตรอนหรือไม่ ทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษได้คำนวณเกี่ยวกับมวลของอิเล็กตรอนที่เพิ่มขึ้นได้อย่างแม่นยำ

ทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษ

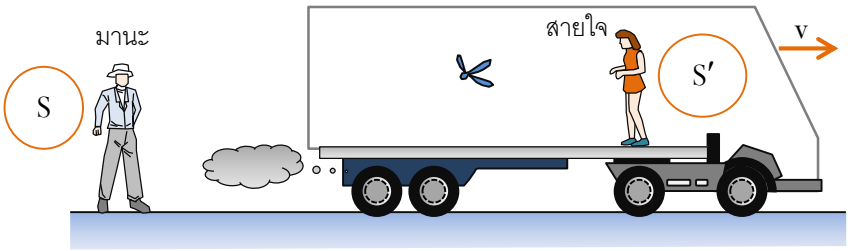
Albert Einstein
นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันเชื้อสายยิว

Ernst Mach

รูป 5.2

ทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษคือทฤษฎีที่อธิบายเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุเช่นเดียวกับกลศาสตร์นิวตันแต่สิ่งที่เพิ่มเติมเข้ามาคือผลของความเร็วที่มีต่ออวกาศและเวลาและตัวผู้สังเกตการณ์ ทฤษฎีสัมพัทธภาพภาคพิเศษได้รับอิทธิพลมาจากแนวคิดเชิงสัมพัทธภาพของกาลิเลโอ(Galileo Galilei,1564–1642)นักฟิสิกส์ชาวอิตาเลียน หลักสัมพัทธภาพของกาลิเลโอกล่าวไว้ว่า การเคลื่อนที่ทั้งหมดเป็นสิ่งสัมพัทธ์ ไม่มีสถานะของการหยุดนิ่งสัมบูรณ์ คนที่อยู่บนดาดฟ้าเรือคิดว่าตนหยุดนิ่ง แต่คนที่สังเกตบนชายฝั่งกลับเห็นว่า คนบนเรือกำลังเคลื่อนที่ หรือในกรณีที่เรานั่งอยู่ใต้ต้นไม้หรืออยู่ที่ใดก็ได้บนโลก เราจะไม่มีทางทราบได้เลยว่า เรากำลังหมุนรอบดวงอาทิตย์ด้วยความเร็วสูง แต่กลับเห็นว่าดวงอาทิตย์กำลังเคลื่อนที่รอบโลก การที่เรามองเห็นว่ารถยนต์ที่จอดอยู่ไม่มีการเคลื่อนที่นั้น เป็นการมองภายใต้กรอบกรอบหนึ่ง คือมองรถยนต์เทียบกับพื้น แต่ต้องไม่ลืมว่าพื้นดินกับรถกำลังหมุนไปพร้อมๆกัน อันเนื่องมาจากการหมุนของโลก ดังนั้นพื้นดินก็คือโลก รถยนต์หรือตัวเราก็เป็นส่วนหนึ่งของโลกเช่นกัน ทุกๆอย่างประกอบกันขึ้นเป็นโลก การที่เราบอกว่ารถยนต์ที่จอดอยู่หยุดนิ่ง เป็นเพียงการนิยามภายใต้สิ่งแวดล้อมที่แคบลงมาโดยเราตัดการหมุนของโลกออกไป ดังนั้นทุกๆวินาทีที่ผ่านไปไม่มีวัตถุใดที่หยุดนิ่งอยู่กับที่ นอกจากนั้น เอินสต์ แม็ก(Ernst Mach,1838–1916) นักฟิสิกส์ชาวออสเตรีย ก็เป็นบุคคลที่มีอิทธิพลมากต่อการสร้างทฤษฎีสัมพัทธภาพของไอน์สไตน์เช่นกัน หลักสัมพัทธภาพของเอินสต์ แม็ก มีแนวคิดเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างเทหวัตถุในเอกภพว่า การเคลื่อนที่ของวัตถุใดๆเป็นผลมาจากการมีอยู่ของวัตถุอื่นๆในเอกภพ เช่นแรงเฉื่อยของวัตถุใดๆที่อยู่บนโลกเป็นผลมาจากแรงโน้มถ่วงของโลกและสสารที่อยู่รอบๆวัตถุนั้น ถ้าสมมุติว่าโลกหายไปในทันทีทันใด แรงเฉื่อยของวัตถุจะหมดลงไปทันทีด้วย

พื้นฐานของทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษคือ**หลักสัมพัทธภาพ** เป็นหลักการเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ซึ่งมีอยู่แล้วในกลศาสตร์ยุคเก่าโดยมีหลักการคือค่าของความเร็ว ถ้าเราพูดถึงความเร็วเช่นความเร็วเสียง ความเร็วลูกบอล หรือความเร็วรถยนต์ ความเร็วที่วัดได้คือสิ่งที่วัดเทียบกับตัวผู้วัด ถ้ามีผู้วัดความเร็วเสียงสองคน โดยคนแรกหยุดนิ่งและอีกคนกำลังเคลื่อนที่ ความเร็วเสียงที่วัดได้จากผู้สังเกตทั้งสองคนจะไม่เท่ากัน(ผู้วัดความเร็วในทางฟิสิกส์หมายถึงผู้สังเกตการณ์)ดังนั้นสิ่งที่สังเกตได้จากผู้สังเกตการณ์ทั้งสองคนเมื่อสังเกตเหตุการณ์เดียวกันจะไม่เหมือนกัน ซึ่งเป็นผลมาจากตำแหน่งและความเร็วของแต่ละผู้สังเกต ผู้สังเกตแต่ละคนก็จะอยู่ในกรอบอ้างอิงของแต่ละคนเท่านั้น ส่วนกรอบอ้างอิงหมายถึงกรอบที่ใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่กับตัวผู้สังเกตเอง เช่นคนที่โยนลูกบอลบนรถเมล์ที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง โดยโยนขึ้นในแนวดิ่งออกจากมือและรับลูกบอลด้วยมือตามปกติจะเห็นว่าลูกบอลเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวดิ่งเมื่อเทียบกับตัวเอง แต่ผู้สังเกตข้างนอกที่หยุดนิ่ง เมื่อมองการเคลื่อนที่ลูกบอลจะเห็นว่า ลูกบอลที่ออกจากมือของผู้โยนจะเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งและกลับไปยังมือของผู้โยนอีกทีหนึ่งเสมือนหนึ่งผู้โยนเคลื่อนที่เข้าไปรับ กรณีนี้คือความแตกต่างของสิ่งที่สังเกตได้ของผู้สังเกตสองคน ผู้สังเกตด้านล่างเรียกว่าผู้สังเกตที่อยู่บนกรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง และผู้สังเกตบนรถคือผู้สังเกตบนกรอบอ้างอิงเคลื่อนที่ กรอบอ้างอิงหยุดนิ่งจะใช้สัญลักษณ์S และกรอบอ้างอิงเคลื่อนที่จะใช้สัญลักษณ์S' ตัวอย่างการเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ เช่นรูปที่5.3 มีแมลงบิน**หยุดนิ่ง**อยู่ในรถคันหนึ่ง รถคันนี้มีอากาศไหลผ่านได้สะดวกจากด้านหน้ารถไปยังด้านหลังของรถ มีผู้สังเกตสองคนคือ มานะและสายใจ ตำแหน่งของมานะกำหนดให้เป็นS(เรียกว่ากรอบอ้างอิงS) ตำแหน่งสายใจกำหนดให้เป็นS'(เรียกว่ากรอบอ้างอิง S') ในขณะที่รถหยุดนิ่งทั้งมานะและสายใจจะเห็นว่าแมลงบินหยุดนิ่งอยู่ที่ตำแหน่งเดิม ในกรณีแรกถ้ารถออกตัวด้วยความเร็วสูงในทันทีทันใดพิจารณาที่ผู้สังเกตที่อยู่บนรถคือสายใจ เมื่อสายใจจ้องที่แมลง สายใจจะมองเห็นว่าแมลงบินไปทางด้านหลัง แต่สำหรับมานะที่อยู่ด้านล่างจะมองเห็นว่าแมลงบินหยุดนิ่ง แต่รถต่างหากที่กำลังเคลื่อนที่ไป ดังนั้นเหตุการณ์เดียวกัน ผู้สังเกตทั้งสองจะมองเหตุการณ์ต่างกัน แต่เมื่อรถหยุดนิ่ง ผู้สังเกตทั้งสองก็หยุดนิ่งด้วย จึงสังเกตเห็นเหตุการณ์แบบเดียวกัน



รูป 5.3

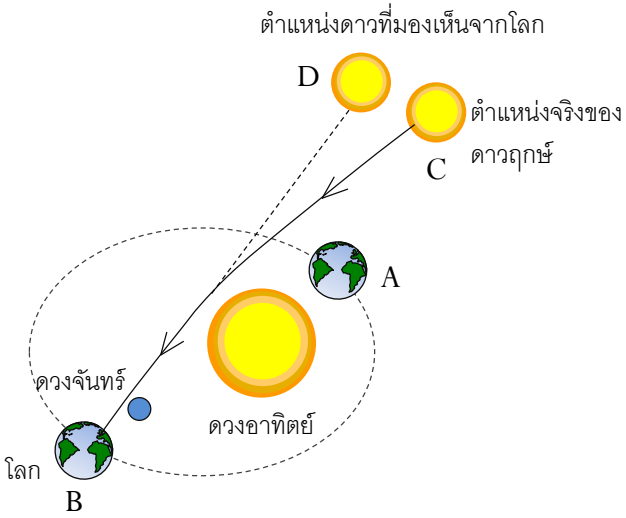
ทฤษฎีสัมพัทธภาพของไอน์สไตน์ ได้แยกขาดออกมาจากกลศาสตร์ยุคเก่าเป็นอย่างมาก โดยทฤษฎีสัมพัทธภาพจะรวม สสาร ที่ว่าง และเวลาให้เป็นหนึ่งเดียวกัน และมีผลต่อกันและกัน ชนิดที่แยกกันไม่ออก กลศาสตร์ยุคเก่านั้นถือว่า สสาร ที่ว่าง และเวลาคือสิ่งที่เป็นอิสระต่อกัน เวลาคือสิ่งที่เดินไปข้างหน้าอย่างสม่ำเสมอ และเดินไปตลอดเท่ากันทั่วทั้งเอกภพ สสารคือสิ่งที่อาศัยอยู่ในที่ว่างเท่านั้น(ที่ว่างคือสภาพที่ไร้ซึ่งมวลสาร)ในทฤษฎีสัมพัทธภาพ เวลาคือสิ่งที่ยืดได้หดได้ ไม่ว่าจะที่เดียวกันหรือต่างสถานที่กัน สิ่งที่มีผลต่อเวลาคือความเร็วของสสารและที่ว่างนั่นเอง

ทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไป

สิบปีต่อมาคือ ค.ศ.1915 ไอน์สไตน์ได้เสนอทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไป ซึ่งเพิ่มเติมจากทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษ ทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไป จะกล่าวถึงอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงที่มีต่อการโค้งตัวของอวกาศ ทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปมีแนวคิดจากการเคลื่อนที่แบบเส้นโค้งของดวงดาวในระบบสุริยะ โยฮันเนส เคปเลอร์(Johannes Kepler,1571−1630)นักดาราศาสตร์ชาวเยอรมันค้นพบว่าวงโคจรทั่วไปของดาวเคราะห์ใดๆคือวงรีส่วนวงโคจรแบบวงกลมจะเป็นเพียงเฉพาะกรณี วงโคจรของดวงดาวมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับหน่วยวัดที่เป็นเมตร แต่ละจุดที่ดวงดาวเคลื่อนที่ไปในระยะสั้นๆจึงเป็นการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง เช่นเดียวกับถนนบนโลกที่เป็นเส้นตรงเมื่อมองภาพให้ใหญ่ขึ้นมันคือส่วนเล็กๆของพื้นผิวโลกที่เป็นวงกลมและเราพูดได้ว่าเส้นตรงคือส่วนประกอบของเส้นโค้งขนาดมหึมา จึงไม่แปลกที่สมัยก่อนจะเชื่อกันว่าโลกแบนเพราะเราตัวเล็กเกินกว่าที่จะเห็นได้ ดังนั้นจึงหมายความว่าพื้นที่แบบราบจึงเป็นเพียงกรณีเฉพาะเช่นแผ่นกระดาษหรือแผ่นกระดานที่เราสร้างขึ้น ไอน์สไตน์จึงเสนอว่าในเมื่อพื้นที่ไม่ใช่สิ่งที่แบนราบ อวกาศก็ไม่ใช่สิ่งที่แบนราบเช่นกัน สังเกตได้จากการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งของดวงดาวรอบดวงอาทิตย์ หรือกรณีที่เราโยนวัตถุเฉียงขึ้นไปในอากาศเช่นการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทด์ ส่วนการโยนวัตถุขึ้นไปแนวดิ่งแม้วัตถุจะตกลงมาเป็นเส้นตรงก็เป็นการตกภายใต้ความโค้งของอวกาศเช่นกัน สำหรับการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงจะเป็นเพียงเฉพาะกรณีเช่นการเคลื่อนที่ของวัตถุบนรางที่เป็นเส้นตรง

รูป 5.12

Johannes Kepler

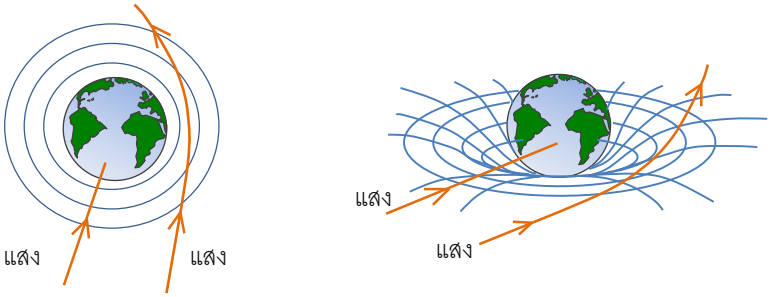


รูป 5.13

สนามแรงโน้มถ่วงนั้นนอกจากจะดึงดูดสสารแล้ว ยังมีผลในการดึงดูดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่น จากรูป5.13เป็นวงโคจรของโลกที่หมุนรอบดวงอาทิตย์ ในขณะที่โลกหมุนมาอยู่ที่ตำแหน่งA เราจะมองเห็นตำแหน่งของดาวฤกษ์อยู่ที่ตำแหน่งC ซึ่งเป็นตำแหน่งจริงของดาวฤกษ์ แต่ในขณะที่โลกอยู่ที่ตำแหน่งB ดาวฤกษ์ยังคงอยู่ที่ตำแหน่งC อยู่ ปรากฏว่าเราจะมองเห็นดาวฤกษ์ดวงนี้อยู่ที่ตำแหน่งD ซึ่งคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง เนื่องจากแสงจากดาวฤกษ์จะถูกแรงโน้มถ่วงของดวงอาทิตย์เบี่ยงเบนทิศทาง ทำให้เกิดภาพเสมือนที่ตำแหน่งD จากรูป5.13 จะเห็นว่าด้านของโลกที่หันเข้าหาดวงอาทิตย์เป็นเวลากลางวันซึ่งมองไม่เห็นดาวฤกษ์ ดังนั้นการจะทดสอบว่าดาวฤกษ์มีการเปลี่ยนตำแหน่งจริงหรือไม่ จะต้องมีการสังเกตในกรณีที่ดวงจันทร์บังแสงอาทิตย์ ซึ่งมีการทดลองทฤษฎีของไอน์สไตน์ ในปีค.ศ.1919 โดยอาร์เทอร์ เอ็ดดิงตัน(Arthur Eddington)นักดาราศาสตร์ชาวอังกฤษและคณะได้สังเกตตำแหน่งดวงดาวในขณะเกิดสุริยุปราคาเต็มดวงที่แอฟริกา และพบว่าแสงของดวงดาวถูกดวงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงทิศทางจริง ทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปของไอน์สไตน์จึงโด่งดังและได้รับความสนใจไปทั่วโลก การที่แสงถูกดึงดูดโดยแรงโน้มถ่วงของโลกได้ย้ำว่าทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปถูกต้อง เป็นที่ทราบกันดีว่าแรงโน้มถ่วงจะมีผลต่อวัตถุหรืออะไรก็ตามที่มีมวล นั่นหมายความว่า แสงมีมวล โดยแสงจะมีมวลก็ต่อเมื่อแสงมีการเคลื่อนที่เท่านั้น คำว่าแสงมีมวลหยุดนิ่งเป็นศูนย์หมายความว่า แสงไม่มีมวลในสภาวะหยุดนิ่งหรือสภาวะหยุดนิ่งเป็นสภาวะที่ไม่มีแสงนั่นเองในทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษ มวลสัมพัทธภาพของแสงหาได้จากสมการ $m=E/c^2$ และในทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไป การที่แสงถูกเบนทิศทางอันเนื่องมาจากสนามแรงโน้มถ่วงมีความหมายเดียวกับการที่แสงวิ่งเข้าไปในความโค้งของอวกาศ

ดังนั้นในทฤษฎีสัมพัทธภาพ สสารและที่ว่างคือสิ่งที่หลอมรวมกันเป็นหนึ่งเดียว ที่ว่างไม่ใช่สิ่งที่ราบเรียบอย่างสมบูรณ์ แม้ว่าจะว่างเปล่าแต่กลับโค้งตัวได้ ที่ใดปรากฏสสารนั่นคืออวกาศในบริเวณนั้นจะโค้งตัวในทุกทิศทางรอบสสารนั้นๆ การโค้งตัวของอวกาศเป็นสิ่งที่ไอน์สไตน์ใช้แก้ปัญหาในเรื่องกฎของแรงดึงดูดซึ่งปัญหาคือความเร็วในการรู้สึกได้ถึงแรงระหว่างมวล นิวตันกำหนดไว้ว่าแรงที่กระทำต่อวัตถุจะกระทำต่อกันในทันทีทันใดโดยไม่ขึ้นอยู่กับระยะทาง นั่นหมายความว่าการสื่อสารกันระหว่างแรงโน้มถ่วงเร็วกว่าแสง หรือถ้าพูดในเชิงอนุภาคแรงคือกราวิตอนเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าแสง ดังนั้นปัญหานี้ทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปกล่าวว่า เมื่ออวกาศมีความโค้งตัวรอบๆมวล วัตถุทั้งหมดในเอกภพจึงอยู่ภายใต้ความโค้งของอวกาศร่วมกัน

การโค้งตัวของอวกาศคืออะไร คิดง่ายๆเรานึกถึงทรงกลม มวลโลกเกาะกันเป็นทรงกลมอย่างไร อวกาศก็โค้งตัวเป็นทรงกลมแบบเดียวกันกับโลก การโค้งตัวนี้จะอยู่รอบๆโลก เพียงแต่เรามองไม่เห็น เราจะมองเห็นแค่ว่าวัตถุกำลังตกเข้าสู่ความโค้งไปยังจุดศูนย์กลางของโลก และอันที่จริงมวลของโลกเองกำลังเกาะกันตามความโค้งของอวกาศนั่นเอง การโค้งตัวของโลกก็คือการโค้งตัวของอวกาศ แม้ผลของแรงโน้มถ่วงจะทำให้โลกกลม แต่โลกก็ไม่ได้กลมแบบสมบูรณ์ รูปทรงของโลกจะเป็นรูปไข่เมื่อมองในแนวเส้นศูนย์สูตรอันเนื่องมาจากแรงหนีศูนย์กลาง ที่มาจากการหมุนรอบตัวเอง



(ก) (ข)

รูป 5.14

การโค้งตัวของอวกาศเป็นสิ่งที่เรานึกภาพได้ยากมาก เราทำได้เพียงแสดงการโค้งตัวออกมาเป็นรูปสองมิติเท่านั้น ดังรูปที่5.14ก และ5.14ข แสดงถึงการโค้งตัวของอวกาศ(หรือที่ว่าง)รอบโลกในรูปแบบของสองมิติ เนื่องจากการโค้งตัวในรูปแบบสามมิติไม่อาจแสดงออกมาได้ เส้นโค้งที่มีลูกศรหมายถึงลำแสงที่มาจากดวงอาทิตย์ เมื่อพุ่งเข้าไปที่โลกโดยตรงรังสีก็ยังเป็นเส้นตรงอยู่ แต่ถ้าไม่ได้พุ่งตรงมาที่โลก แต่เคลื่อนที่เฉียดหรือผ่านไป แสงจะวิ่งเป็นเส้นโค้งตามการบิดตัวของอวกาศ ดังนั้นวัตถุที่ถูกดึงโดยโลกถ้าจะพูดอีกแง่หนึ่งก็คือถูกดึงโดยความโค้งของอวกาศนั่นเอง

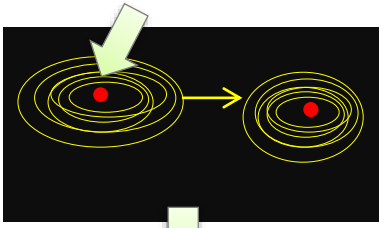
เอกภพ

ก่อนที่เราจะบรรยายถึงแรงโน้มถ่วง เรามาทำความเข้าใจเกี่ยวกับเอกภพกันก่อน เพื่อที่จะจินตนาการว่าเอกภพกว้างใหญ่เพียงใดนั้นเราลองมาพิจารณาขนาดของเอกภพโดยใช้การเดินทางของแสงดังรูป5.17 และรูป5.18

นี่คือระบบสุริยะของเรา แสงเดินทางจากดวงอาทิตย์ถึงโลกใช้เวลาประมาณ8.3นาที

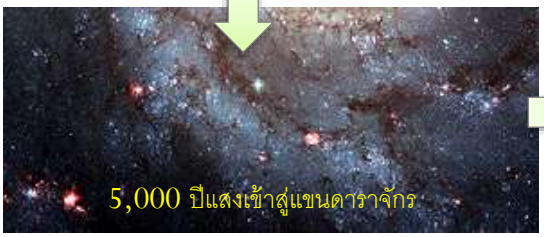
โลก

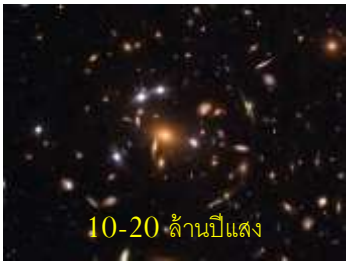
$1.27\times10^{7}\,m$



เมื่อพ้นเขตระบบสุริยะของเราแล้ว แสงจะต้องเดินทางอีก250ปีจึงจะไปถึงระบบสุริยะเพื่อนบ้าน

ดาราจักรของเรามีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ1แสนปีแสง





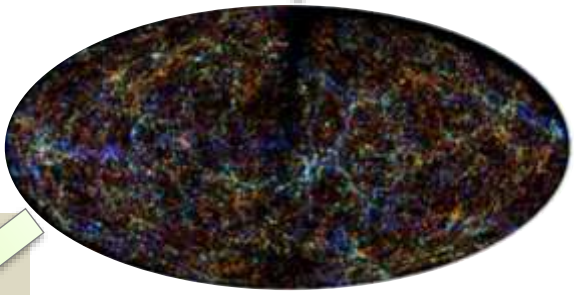
ต่อมาคืออาณาเขตที่เรียกว่าclusters มีดาราจักรประมาณ1,000ดาราจักร clusters มีรัศมีประมาณ 10-20 ล้านปีแสงจากดวงอาทิตย์ของเรา

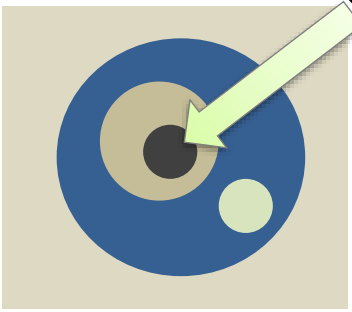
เมื่อเลยเขตของดาราจักรของเราไปแล้ว ก็จะเป็นเขตของกลุ่มดาราจักรที่เรียกว่าlocal group มีดาราจักรขนาดเล็กประมาณ36 ดาราจักรและมี3ดาราจักรขนาดใหญ่ local group มีรัศมีประมาณ5ล้านปีแสงจากดวงอาทิตย์ของเรา

รูป 5.17

super clusters มีรัศมีประมาณ 1,000 ล้านปีแสงจากดวงอาทิตย์ของเรา มีดาราจักรขนาดใหญ่ประมาณ3ล้านดาราจักร

ต่อมาคืออาณาเขตที่เรียกว่า virgo super clusters มีดาราจักรขนาดใหญ่ประมาณ2,500ดาราจักร clusters มีรัศมีประมาณ100ล้านปีแสงจากดวงอาทิตย์ของเรา





เอกภพเท่าที่สังเกตได้โดยกล้องโทรทัศน์ มีดาราจักรขนาดใหญ่ประมาณ10,000ล้านดาราจักร มีขนาดประมาณ10^{27}m หรือมีขนาดรัศมีประมาณ 13,700ล้านปีแสง

รูปนี้เป็นแบบจำลองของเอกภพซ้อนเอกภพ ซึ่งตอนนี้ยังเป็นเพียงทฤษฎี เอกภพที่เราสังเกตได้อาจเป็นเพียงเอกภพเล็กๆที่ซ้อนอยู่ในเอกภพขนาดใหญ่หลายๆเอกภพ

รูป 5.18

ในเรื่องที่มาของเอกภพหรือทำไมจึงมีเอกภพ กระแสส่วนใหญ่มุ่งไปที่สภาวะบิ๊กแบง ซึ่งเป็นสภาวะของการระเบิดครั้งใหญ่ พร้อมกับการขยายตัวของมิติ พลังงานที่ระเบิดออกมาจะเปลี่ยนเป็นอนุภาคมูลฐาน อนุภาคมูลฐานหลายๆชนิดรวมกันเป็นอะตอม เป็นโมเลกุล และเป็นดวงดาว

บทที่ 6

กลศาสตร์ควอนตัม

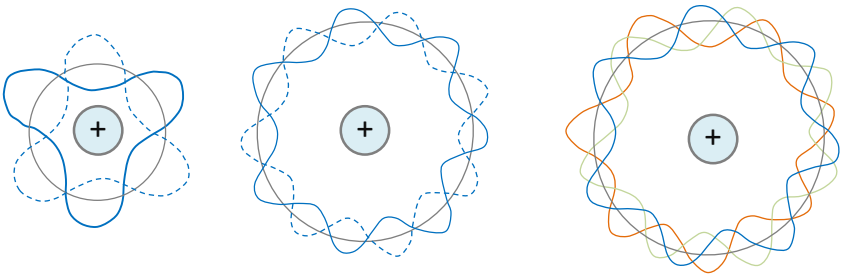
เนื่องจากกลศาสตร์ควอนตัมเป็นเรื่องราวเกี่ยวกับอะตอมทำให้คนทั่วไปไม่รู้จักกลศาสตร์ควอนตัมมากเท่ากับทฤษฎีสัมพัทธภาพและสมการของควอนตัมเข้าใจยากกว่าทฤษฎีสัมพัทธภาพ แต่ในวงการฟิสิกส์แล้วถือว่ากลศาสตร์ควอนตัมเป็นทฤษฎีที่มีความสำคัญมากที่สุดทฤษฎีหนึ่ง ยุคของกลศาสตร์ควอนตัมถือว่าเป็นยุคทองของฟิสิกส์ เป็นช่วงที่ฟิสิกส์มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วและก้าวกระโดด

กำเนิดกลศาสตร์ควอนตัม

ความไม่สมบูรณ์ของทฤษฎีโครงสร้างอะตอมของบอร์ทำให้นักฟิสิกส์ต้องค้นหาทฤษฎีโครงสร้างอะตอมแบบใหม่ที่อธิบายได้อย่างครอบคลุมกว่า ทฤษฎีของบอร์ยังถูกต้องอยู่สำหรับไฮโดรเจนอะตอม แต่อธิบายอะตอมที่มีขนาดใหญ่ไม่ได้ จากทฤษฎีของ หลุยส์ เดอ บร็อคลีย์ ที่กล่าวว่าอิเล็กตรอนมีสมบัติเป็นคลื่นเช่นเดียวกับโฟตอน และจากการทดลองการกระเจิงของอิเล็กตรอนช่วยยืนยันว่าอิเล็กตรอนเป็นคลื่นและเราสามารถหาค่าความยาวคลื่นได้ อิเล็กตรอนจึงไม่ใช่อนุภาคหรือคลื่นเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง แต่เป็นได้ทั้งสองอย่าง ขึ้นอยู่กับการทดลองและการวัดของเรา

ในปีค.ศ.1925 เกิดกลศาสตร์ควอนตัมโดยการรวมตัวกันของนักฟิสิกส์จากหลายประเทศคือ นีลส์ บอร์ จากเดนมาร์ก,เวอร์เนอร์ ไฮเซนเบิร์ก จากเยอรมันนี,โวลฟ์แกง เพาลี จากออสเตรีย,เออร์วิน ชโรดิงเจอร์ จากออสเตรีย,หลุยส์ เดอ บร็อคลีย์ จากฝรั่งเศส,พอล ดิแร็กจากอังกฤษ ร่วมกันพัฒนาแบบจำลองอะตอมและสร้างทฤษฎีที่อธิบายปรากฏการณ์ระดับอนุภาคได้สำเร็จ ช่วงนี้ถือกันว่าเป็นยุคทองของฟิสิกส์ คือเป็นยุคที่ฟิสิกส์เฟื่องฟูมากที่สุด ก่อนหน้านั้นในปีค.ศ.1924แนวคิดของ หลุยส์ เดอ บร็อคลีย์ เกี่ยวกับคลื่นอิเล็กตรอนนั้น มาจากคลื่นนิ่งของเชือกหรือคลื่นนิ่งของเสียง อนุภาคของเชือกหรืออนุภาคของอากาศเมื่อถูกจำกัดขอบเขต จะสามารถเกิดเป็นคลื่นนิ่งได้ เมื่อเราให้แรงแก่อนุภาคเหล่านี้อย่างต่อเนื่อง ในอะตอมก็เช่นกัน อิเล็กตรอนถูกนิวเคลียสดึงดูดเข้าไป จนระยะห่างระหว่างนิวเคลียสกับอิเล็กตรอนลดลง ผลของการดึงดูดกันน่าจะหมายความว่าอนุภาคทั้งสองต้องเคลื่อนที่เข้าหากันและท้ายที่สุดคือการชนกันระหว่างสองอนุภาค แต่มันไม่ได้เป็นเช่นนั้น อิเล็กตรอนกลับไม่ได้วิ่งเข้าไปชนนิวเคลียส นั่นเพราะอิเล็กตรอนไม่ได้เป็นอนุภาคอย่างแท้จริง อิเล็กตรอนสั่นไหวอยู่ตลอดเวลาในลักษณะของคลื่น อิเล็กตรอนจึงไม่มีที่อยู่อย่างชัดเจนในอวกาศสามมิติเช่นวัตถุขนาดใหญ่ที่มีตำแหน่งชัดเจน ความที่อิเล็กตรอนไม่ได้มีตำแหน่งที่แน่นอน มันจึงตอบสนองโดยการไม่ถูกดูดเข้าไปในนิวเคลียส เมื่อไม่ถูกดึงเข้าไปในนิวเคลียส อิเล็กตรอนจึงถูกบังคับให้อยู่ภายในขอบเขตที่จำกัดรอบๆนิวเคลียส ขณะที่แรงทางไฟฟ้าพยายามดึงดูดเข้าไป แต่สมบัติประจำตัวที่ไม่อาจเป็นอนุภาค อิเล็กตรอนจึงสั่นไหวรอบๆนิวเคลียสในลักษณะของคลื่นนิ่งด้วยความเร็วสูง ยิ่งอิเล็กตรอนจะถูกจำกัดพื้นที่ให้เล็กลงมากเท่าใด ความเร็วของอิเล็กตรอนจะสูงมากขึ้นตามไปด้วย

กลศาสตร์ควอนตัมคือการรวมฟังก์ชันคลื่นของอนุภาคกับสมการพลังงาน รวมทั้งฟังก์ชันความน่าจะเป็น กลศาสตร์ควอนตัมจึงประสบความสำเร็จในการอธิบายโครงสร้างอะตอม รวมทั้งอนุภาคที่เล็กกว่าอะตอม เช่นการสั่นของอิเล็กตรอนในสสาร การหาความน่าจะเป็นที่จะพบอิเล็กตรอน การเกิดสนามแม่เหล็ก กลศาสตร์ควอนตัมจึงเป็นทฤษฎีเกี่ยวกับสสารที่ก้าวหน้าที่สุด



รูป 6.1

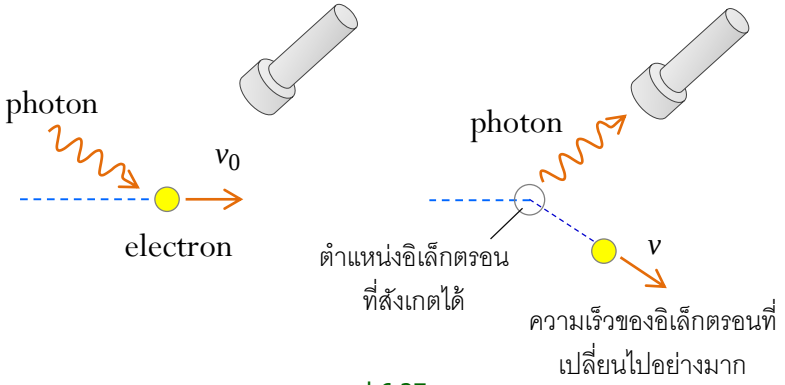
การสั่นของอิเล็กตรอนรอบๆนิวเคลียสจะไม่เหมือนกับการหมุนของโลกรอบดวงอาทิตย์ในระบบสามมิติ คือเราไม่อาจกำหนดให้อิเล็กตรอนมีลักษณะเป็นเมล็ดวัตถุแข็งตันได้ เช่นเดียวกับลูกบอลขนาดจิ๋ว อิเล็กตรอนนั้นมีความผิดแผกและมีความเป็นพิเศษ การตอบสนองของมันต่อนิวเคลียสหรือโปรตอนไม่ใช่เป็นการหมุนเช่นเดียวกับการหมุนของโลกรอบดวงอาทิตย์ เราเรียกว่า อิเล็กตรอนมีการสั่นรอบนิวเคลียสดูจะถูกต้องกว่า โดยปกติโลกหมุนรอบดวงอาทิตย์ด้วยวงโคจรที่เป็นเรขาคณิตที่สามารถสื่อออกมาให้เห็นภาพได้ แต่กับอิเล็กตรอนเราไม่อาจรู้ตำแหน่งของอิเล็กตรอนที่แน่นอนได้ อิเล็กตรอนดำรงอยู่รอบนิวเคลียสในลักษณะของความน่าจะเป็น ในลักษณะของความเป็นคลื่น และเป็นคลื่นของความน่าจะเป็น นั่นก็คือเรามีโอกาสจะพบอิเล็กตรอนในพื้นที่บางพื้นที่เท่านั้น และพื้นที่ที่มีโอกาสพบอิเล็กตรอนมากที่สุดเราจะเรียกว่า วงโคจร(มีทั้งวงโคจรหลักและวงโคจรย่อยคือ shell ,subshell และorbital) ความเป็นคลื่นของอิเล็กตรอนนี้เองคือสิ่งที่ทำให้สสารมีลักษณะเป็นของแข็งตัน ส่วนของเหลวและก๊าซจะมีแรงดัน

สิ่งหนึ่งที่ต่างกันอย่างมากระหว่างวงโคจรของดวงดาวกับวงโคจรของอะตอมคือ เมื่อดวงดาวเกิดการชนกันจะทำให้ดวงดาวทั้งสองสูญเสียตำแหน่งของการเคลื่อนที่ในวงโคจรจนไม่อาจกลับคืนสู่สภาพเดิมได้อีก แต่ในกรณีของอะตอมไม่ว่าจะมีการชนกับอะตอมอื่นกี่ครั้งก็ตาม มันก็สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้เสมอ เช่นการชนกันระหว่างอะตอมของก๊าซในบรรยากาศซึ่งเกิดขึ้นนับล้านๆครั้ง และโครงสร้างอะตอมก็ยังกลับมาเหมือนเดิมได้อีก ดังนั้นการชนกันของวัตถุขนาดใหญ่ในชีวิตประจำวันของเราจึงเป็นการชนกันระหว่างกลุ่มของอะตอม จึงเรียกได้ว่าปรากฏการณ์ทางกายภาพเป็นปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับอะตอมล้วนๆ เช่นการชนกันระหว่างอะตอมอากาศกับอะตอมของโลหะ เมื่ออะตอมอากาศเคลื่อนที่เข้าประชิดกับอะตอมโลหะ การชนกันของอะตอมคือการเข้าใกล้กันของอิเล็กตรอนวงนอกสุดของแต่ละอะตอม จึงมีผลทำให้วงโคจรของอิเล็กตรอนถูกอัดเข้าไป แต่อิเล็กตรอนก็พยายามที่จะรักษาวงโคจรการสั่นของตัวมันเองไว้ ดังนั้นจึงมีแรงต่อต้านออกมาจากอะตอมแต่ละตัว โดยแรงผลักระหว่างวัตถุก็คือแรงผลักกันระหว่างอิเล็กตรอน

หลักแห่งความไม่แน่นอน(Uncertainty Principle)

รูป 6.26
Werner Heisenberg

ในปีค.ศ.1927 เวอร์เนอร์ ไฮเซนเบิร์ก(Werner Karl Heisenberg,1901−1976) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันเสนอหลักแห่งความไม่แน่นอน ซึ่งมีใจความว่า**เราไม่อาจวัดตำแหน่งและโมเมนตัมของอิเล็กตรอนได้อย่างถูกต้องในคราวเดียวกัน** จากรูป6.27 เมื่อเราต้องการรู้ตำแหน่งของอิเล็กตรอนในบริเวณหนึ่ง จะต้องใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นให้น้อยมากที่สุดเพื่อให้การวัดมีความแม่นยำในตำแหน่ง แต่ยิ่งความยาวคลื่นน้อยพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะสูงมาก และคลื่นที่เราใช้วัดตำแหน่งนั้นก็เป็นสนามแรงเช่นกัน ถ้าเรายิงคลื่นนี้ไปที่อิเล็กตรอน อิเล็กตรอนซึ่งไวต่อสนามแรงอยู่แล้วก็จะเปลี่ยนแปลงความเร็วและทิศทางทันที การเปลี่ยนแปลงความเร็วก็คือการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมดังนั้นยิ่งเราทราบตำแหน่งได้แม่นยำ ความถูกต้องของโมเมนตัมก็จะน้อยลง แต่ถ้าเราใช้คลื่นที่มีพลังงานจลน์น้อยเพื่อลดการรบกวนความเร็วของอิเล็กตรอน นั่นคือคลื่นที่เราใช้จะมีความยาวคลื่นเพิ่มมากขึ้นทำให้ความถูกต้องของตำแหน่งอิเล็กตรอนลดน้อยลง



รูป 6.27

การตีความโคเปนเฮเกนและปัญหาEPR

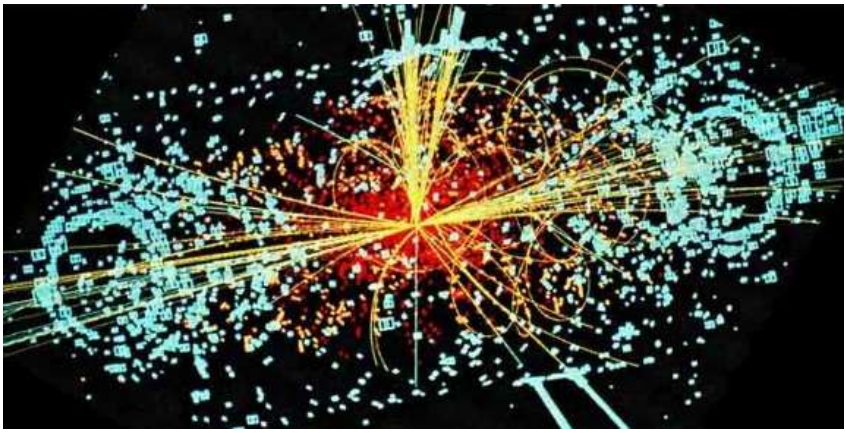
ในปีค.ศ.1927 นีลส์ บอร์ ได้เสนอหลักการเติมเต็ม(complementarity)โดยกล่าวสรุปว่าอิเล็กตรอนเป็นได้ทั้งคลื่นและอนุภาค ซึ่งขึ้นอยู่กับการทดลองของผู้สังเกตการณ์(ขึ้นอยู่กับการเลือกเครื่องมือที่เราจะมองอิเล็กตรอน)การทดลองที่สอดคล้องกับการวัดผลแบบอนุภาคก็จะได้ผลคืออิเล็กตรอนเป็นอนุภาค การทดลองที่เหมาะสมในแบบคลื่นก็จะได้อิเล็กตรอนที่เป็นคลื่น สมการชโรดิงเจอร์เป็นเพียงส่วนหนึ่งของกลศาสตร์ควอนตัมเท่านั้น กลศาสตร์ควอนตัมประกอบไปด้วยกลศาสตร์เมทริกซ์ที่พัฒนาโดยเวอร์เนอร์ ไฮเซนเบิร์ก หลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก ทฤษฎีของดิแร็ก หลักการเติมเต็มของบอร์ หลักการกีดกันของเพาลี ทฤษฎีของมักซ์ บอร์น เป็นต้น ชโรดิงเจอร์ไม่ทราบเกี่ยวกับสปินของอิเล็กตรอนด้วยซ้ำ หลักความน่าจะเป็นของไฮเซนเบิร์กและคลื่นความน่าจะเป็นของบอร์นได้นำไปสู่การตีความโคเปนเฮเกน(Copenhagen Interpretation,CHI) การตีความโคเปนเฮเกนนั้นบอร์ได้กล่าวสรุปไว้ว่า ระบบอะตอมก่อนที่เราจะทำการวัดเป็นสิ่งที่นิยามไม่ได้ หรือไม่มีนิยามนั่นเอง และผลลัพธ์ของการทดลองมีเพียงความน่าจะเป็นที่จะปรากฏขึ้นเท่านั้น

บอร์สนับสนุนหลักแห่งความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก แต่ทว่าไอน์สไตน์และชโรดิงเจอร์ไม่เห็นด้วยกับหลักแห่งความไม่แน่นอนซึ่งเป็นหัวใจหลักของกลศาสตร์ควอนตัม เนื่องจากไอน์สไตน์และชโรดิงเจอร์เชื่อว่าทุกๆอย่างจะต้องบอกค่าได้อย่างแม่นยำโดยการคำนวณและเชื่อว่าเอกภพเป็นไปตามกฎเกณฑ์ที่แน่นอน แต่หลักแห่งความไม่แน่นอนกำลังจะบอกว่าธรรมชาติในระดับพื้นฐานเป็นสิ่งที่ไร้ซึ่งกฎเกณฑ์ ไม่แน่นอน ซึ่งนี่คือที่มาของประโยคของไอน์สไตน์ที่ว่า พระเจ้าไม่เล่นเกมเสี่ยงทาย ซึ่งเป็นประโยคที่สนทนากับนีลส์ บอร์ ไอน์สไตน์ไม่อาจยอมรับหลักCHI ได้ ไอน์สไตน์เชื่อว่าสถานะของอนุภาคจะต้องเป็นแบบใดแบบหนึ่ง ก่อนที่อนุภาคจะถูกตรวจวัด

ความน่าจะเป็นในแบบคลาสสิก กับความน่าจะเป็นในทางควอนตัมมีความหมายต่างกันมาก ยกตัวอย่างเช่น มีขวดใบหนึ่งบรรจุอยู่ในลังไม้ และเมื่อโยนลังไม้ลงบนพื้น สมมุติว่าตามสถิติจากการทดลอง100ครั้งจะพบขวดแตกเท่ากับ45ใบและเมื่อทดลองมากกว่า100ครั้งขึ้นไปเรื่อยๆจำนวนขวดที่แตกกับขวดที่ไม่แตกมีแนวโน้มจะเป็นครึ่งต่อครึ่งหรือ50เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสรุปว่าในการทิ้งลังไม้ลงกับพื้น ความน่าจะเป็นที่ขวดจะแตกมีค่าเท่ากับ50เปอร์เซ็นต์(P=1/2=0.5 หรือP=50%) นั่นคือก่อนที่เราจะเปิดดูลังไม้ ขวดข้างในอาจอยู่ในสถานะที่แตก หรืออีกทางหนึ่งก็คือขวดอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ ไม่ทางใดก็ทางหนึ่งซึ่งเราสามารถคาดเดาได้ก่อนที่จะเปิดดู แต่ในทางควอนตัมเราไม่มีทางทราบสถานะของอนุภาคได้จนกว่าอนุภาคจะถูกวัด และเราไม่อาจคาดเดาได้ว่าอนุภาคก่อนที่จะถูกวัดมีสถานะอย่างไร เมื่อนำความน่าจะเป็นแบบควอนตัมมาเทียบกับการเปิดกล่องไม้เพื่อดูขวด นั่นหมายความว่าความน่าจะเป็นแบบควอนตัมจะบอกว่า การเปิดดูลังไม้จะมีผลต่อสถานะของขวด

บทที่ 7

ฟิสิกส์อนุภาค



ภายหลังยุคกลศาสตร์ควอนตัม อนุภาคต่างๆที่นอกเหนือไปจากอนุภาคแสง อิเล็กตรอน โปรตอนและนิวตรอน ได้ถูกค้นพบมากขึ้นเรื่อยๆจากการแผ่รังสีของสารกัมมันตภาพรังสี และรังสีจากดวงอาทิตย์ จนในปัจจุบันอนุภาคใหม่ๆถูกค้นพบโดยเทคนิคการชนกันระหว่างอนุภาคพลังงานสูง ฟิสิกส์อนุภาคจะกล่าวถึงอนุภาคชนิดใหม่ๆรวมทั้งอันตกิริยาระหว่างอนุภาคเหล่านั้น

ลักษณะการชนของอนุภาคในเครื่องเร่งอนุภาคมีอยู่สองแบบคือ

1.การชนลำอนุภาคกับเป้านิ่ง หมายความว่าอนุภาคจะถูกเร่งให้ชนกับเป้าที่หยุดนิ่งเช่นโลหะต่างๆ เป้านิ่งอาจเป็นของแข็ง ของเหลวหรือก๊าซก็ได้ ตัวอย่างเช่นการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ด หรือการทดลองการชนกันของอิเล็กตรอนกับโลหะทังสเตนในหลอดรังสีเอ็กซ์

2.การใช้ลำอนุภาคชนกันดังรูปที่7.12 ลำอนุภาคสองลำจะถูกเร่งให้มีพลังงานจลน์มหาศาลในทิศทางสวนกันและทำให้ชนกันในท่อควบคุม

เครื่องเร่งอนุภาคแอลเอชซี

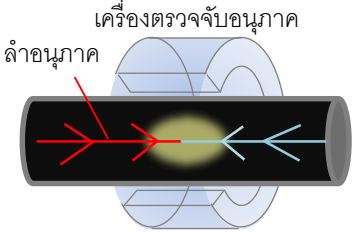
เครื่องเร่งอนุภาคเทวาตรอน

รูป 7.14

โครงสร้างของเครื่องเร่งอนุภาคมีอยู่สองแบบคือ

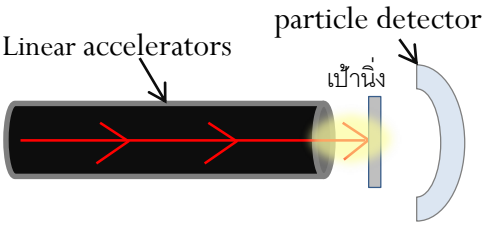
1.linear accelerators หรือ linac เครื่องเร่งอนุภาคชนิดนี้จะมีท่อเป็นเส้นตรง ทำให้ลำอนุภาควิ่งจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งเป็นเส้นตรงด้วย ลำอนุภาคสองลำจะถูกทำให้ชนกันภายในท่อดังรูปที่7.15ก หรือใช้อนุภาคลำเดียวชนกับเป้านิ่งก็ได้ดังรูปที่7.15ข ที่ SLAC ท่อที่เป็นทางวิ่งของอนุภาคมีความยาวถึง 3กิโลเมตร โดยสามารถเร่งอนุภาคที่มีพลังงานเท่ากับ50GeV

2.circular accelerators หรือ synchrotrons เครื่องเร่งอนุภาคมีท่อขดเป็นวงกลม ลำอนุภาคจะวิ่งเป็นเส้นโค้งภายในท่อโดยการควบคุมของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กภายในท่อ ลำอนุภาคสองลำจะวิ่งเป็นเส้นโค้งและชนกันภายในท่อดังรูป7.16ก



การชนกันของอนุภาคใน linacs

(ก)



การชนกันของอนุภาคกับเป้านิ่ง

(ข)

รูป 7.15

(ก) การชนกันของอนุภาค ใน synchrotrons

(ข) การชนกันของอนุภาคกับเป้านิ่ง

รูป 7.16

รูปที่7.16ข เป็นการเชื่อมต่อ linacs กับ Synchrotrons กรณีนี้อนุภาคจะถูกเร่งให้วนอยู่ในท่อวงกลม จากนั้นอนุภาคจะวิ่งเข้าสู่ท่อที่เป็นเส้นตรงและชนกับเป้านิ่ง ในทางกลับกันอนุภาคอาจถูกเร่งในท่อที่เป็นเส้นตรงก่อนแล้วค่อยถูกส่งเข้าไปในท่อวงกลมก็ได้

อนุภาคที่เล็กกว่าอะตอม(sub-atomic particle)

ฟิสิกส์อนุภาคเกิดขึ้นภายหลังทฤษฎีของบอร์และกลศาสตร์ควอนตัมโดยจะกล่าวถึงอนุภาคที่เล็กกว่าอะตอมเป็นหลัก และจะเน้นถึงอันตกิริยาระหว่างอนุภาค สมบัติของอนุภาค ชนิดของอนุภาค รวมทั้งการค้นหาอนุภาคใหม่ๆ แน่นอนว่าเราไม่อาจทราบถึงสมบัติของอนุภาคต่างๆได้เท่ากัน อนุภาคบางอย่างตรวจพบได้ง่ายในธรรมชาติ อนุภาคบางชนิดยังเป็นสิ่งที่แปลกประหลาด และมีอีกหลายชนิดที่ยังไม่ค้นพบ

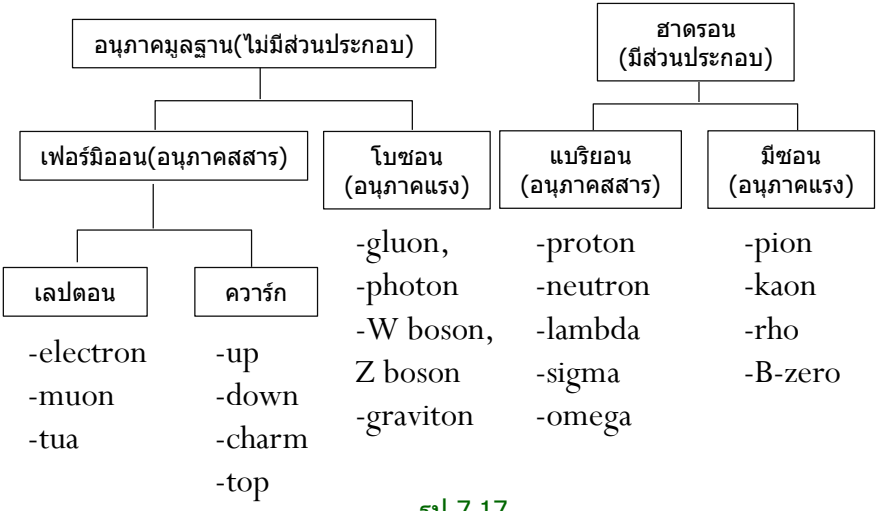
ก่อนอื่นเรามาทำความรู้จักกับอนุภาคกันก่อน ในปัจจุบันมีการแบ่งอนุภาคออกเป็นสองชนิดใหญ่ๆคือ อนุภาคมูลฐาน(fundamental particle)และฮาดรอน(hadrons)อนุภาคที่ไม่มีส่วนประกอบอื่นใดอีกเรียกว่าอนุภาคมูลฐานหรืออนุภาคพื้นฐาน ส่วนอนุภาคที่ประกอบขึ้นมาจากอนุภาคมูลฐานเรียกว่าฮาดรอน ทั้งอนุภาคมูลฐานและฮาดรอนเป็นได้ทั้งอนุภาคสสาร(mass particles)และอนุภาคพลังงาน(energy particles)หรืออนุภาคแรง(force particles)และบางครั้งเรียกว่าอนุภาคนำพาแรง(force carrier particle) อนุภาคสสารมูลฐานเรียกว่า**เฟอร์มิออน**(fermion)ส่วนอนุภาคแรงมูลฐานเรียกว่า**โบซอน**(boson)

เฟอร์มิออนแบ่งเป็นสองประเภทคือ**เลปตอน**(leptons)และ**ควาร์ก**(quark)ทั้งเลปตอนและควาร์กก็แบ่งออกเป็นอีก 6ชนิด(ยังไม่รวมปฏิอนุภาค)

โบซอนแบ่งออกเป็น 4 ชนิดใหญ่ๆคือ กลูออน,โฟตอน,โบซอน(ประกอบด้วยWโบซอน และZ โบซอน),และกราวิตอน

ต่อมาคืออนุภาคที่ไม่ใช่อนุภาคมูลฐานเรียกว่า**ฮาดรอน**(hadrons)คืออนุภาคที่ประกอบขึ้นมาจากควาร์กมีอยู่สองชนิดคือแบริยอน (baryons)และมีซอน(mesons)แบริยอนเป็นอนุภาคสสารเช่นโปรตอน นิวตรอนและอีกหลายชนิด แบริยอนมีอยู่120ชนิด รูปที่7.17 แสดงบาริยอนแค่บางชนิดเท่านั้น ส่วนมีซอนเป็นอนุภาคพลังงาน ประกอบขึ้นจากควาร์กเช่นกันมีหลายชนิดดังรูปที่7.17

ส่วนที่ใช้ประจำคือ **นิวคลีออน**(nucleon)หมายถึงอนุภาคโปรตอนและนิวตรอน หมายความว่าโปรตอนก็เรียกว่านิวคลีออนหรือนิวตรอนก็เรียกว่านิวคลีออนได้เช่นกันเพื่อความสะดวกในการสื่อความหมายซึ่งในบางครั้งก็ต้องเรียกชื่อรวมกัน



รูป 7.17

เรามาทำความเข้าใจคำศัพท์ในทางฟิสิกส์ยุคใหม่กันก่อน มีคำเรียกชื่อหลายๆคำที่มีความหมายเหมือนกันและใช้แทนกันได้เช่น

1.สนามแม่เหล็กไฟฟ้า(electromagnetic field)สนามแม่เหล็กไฟฟ้าก็คือโฟตอน เราอาจเรียกสนามแม่เหล็กไฟฟ้าว่าโฟตอนหรือสนามโฟตอน(photon field)ก็ได้ เพราะถ้าเราบอกว่าอนุภาคอิเล็กตรอนยึดเกาะกับโปรตอนด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า หรืออนุภาคอิเล็กตรอนยึดเกาะกับโปรตอนด้วยแรงทางไฟฟ้าหรืออิเล็กตรอนยึดเกาะกับโปรตอนด้วยสนามโฟตอนก็มีความหมายเดียวกัน

2.เมื่อเราพูดถึงอนุภาคสสาร(mass particle)ความหมายจะกว้างมากเช่น อนุภาคอิเล็กตรอน อนุภาคโปรตอน นิวตรอน ควาร์ก รวมทั้งแอนติอนุภาคทั้งหมดด้วย คำว่าอนุภาคอาจใช้แทนสิ่งที่ใหญ่กว่าอิเล็กตรอนก็ได้ เช่นอะตอมก็ถือว่าเป็นอนุภาค โมเลกุลก็ถือว่าเป็นอนุภาคหรือแม้แต่ฝุ่น ก้อนหินเล็กๆก็คืออนุภาคด้วยเช่นกัน ขึ้นอยู่กับว่าเรากำลังพูดถึงอนุภาคในขอบเขตไหน ส่วนคำว่า**สนามอิเล็กตรอน**ก็คือการมองอนุภาคสสารในแง่มุมที่เป็นสนาม

ทั้งอนุภาคแรงและอนุภาคสสารจะมีความหมายต่างกันเมื่อเราพิจารณาในเชิงของประจุ มวล อันตกิริยา สปินของอนุภาค แต่ในแง่ของทฤษฎีสัมพัทธภาพและทฤษฎีสนาม อนุภาคแรงและสสารกลับมีความหมายไม่ต่างกันเลย ความไม่เหมือนกันของอนุภาคเป็นเพียงการแสดงออกของสิ่งที่เหมือนกัน สิ่งที่เรากำลังพูดถึงก็คือสนามพื้นฐานนั่นเอง

fermion

leptons spin = 1/2		**quarks** spin = 1/2	
electron	electron neutrino	up	down
e^- -1	ν_e 0	u 2/3	d $-1/3$
พบปี 1897	พบปี 1956	พบปี 1969	พบปี 1969
muon	muon neutrino	charm	strange
μ^- -1	ν_μ 0	c 2/3	s $-1/3$
พบปี 1937	พบปี 1962	พบปี 1974	พบปี 1969
tua	tua -neutrino	top	bottom
τ^- -1	ν_τ 0	t 2/3	b $-1/3$
พบปี 1975	พบปี 2000	พบปี 1995	พบปี 1977

ตาราง 7.1 อนุภาคสสาร (mass particles)

ตารางที่7.1เป็นตารางแสดงอนุภาคสสารที่เป็นอนุภาคมูลฐาน(Fundamental particle) โดยแสดงชนิดของเฟอร์มิออน12ชนิด แต่ละชนิดจะระบุสัญลักษณ์ของอนุภาค เลขสปิน ประจุไฟฟ้าและปีคศ ที่ค้นพบ เฟอร์มิออนทั้งหมดมีสปินเหมือนกันคือ1/2 ส่วนประจุกับมวลอาจจะเหมือนกันและต่างกันก็ได้ เฟอร์มิออนแบ่งออกเป็นเลปตอนและควาร์ก เลปตอนกับควาร์กต่างกันยังไง เลปตอนไม่มีอันตกิริยากับแรงแบบเข้ม ขณะที่ควาร์กจะมีอันตกิริยาต่อควาร์กด้วยกันด้วยแรงแบบเข้ม ดังนั้นเราจึงพบควาร์กได้ในนิวเคลียสของอะตอมเท่านั้น ในตารางจะกำหนดให้ประจุของอิเล็กตรอนคือ-1 มีค่าเท่ากับ-1.6×10^{-19}C(กำหนดให้ประจุขนาด1.6×10^{-19}C คือประจุที่มีขนาดหนึ่งหน่วย)เครื่องหมายลบเป็นเพียงชนิดของประจุ ส่วนเลขศูนย์หมายถึงเป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุและทำให้อนุภาคเช่น อิเล็กตรอนนิวตริโนไม่มีอันตกิริยาทางไฟฟ้า

อิเล็กตรอนอยู่ในประเภทของเลปตอน เราจึงเรียกอิเล็กตรอนว่าเลปตอนก็ได้ อิเล็กตรอนเป็นอนุภาคที่เราคุ้นเคยกันมาก รองจากอนุภาคแสง อิเล็กตรอนถูกค้นพบในปี ค.ศ.1897 โดย เจ เจ ทอมสัน โดยพบว่ารังสีแคโทดคืออิเล็กตรอน และอิเล็กตรอนก็เป็นอนุภาคที่รู้จักกันดีว่าเป็นสายฟ้าที่วิ่งระหว่างเมฆในกรณีของฟ้าแลบ หรือทำให้เกิดการดึงดูดในกรณีของไฟฟ้าสถิต

ในปีค.ศ.1937 มีการค้นพบมิวออน(muon)โดยเซ็ตท์ เนทเดอร์เมเยอร์ (Seth Neddermeyer)นักฟิสิกส์ชาวอเมริกัน,ซี ดี แอนเดอร์สัน(Carl D. Anderson)นักฟิสิกส์ชาวอเมริกัน,เจซี สตรีท(J.C. Street)และอีซี สตีเวนสัน(E.C. Stevenson) โดยใช้เครื่องBubble chamberในการวัดรังสีคอสมิก มิวออนเป็นอนุภาคที่มีมวลมากกว่าอิเล็กตรอน200เท่า ในตอนนั้นคาดกันว่าเป็นอนุภาคมีซอนที่ยูกะวะนักฟิสิกส์ชาวญี่ปุ่นทำนาย แต่ภายหลังพบว่าเป็นมิวออน(muonหรือ μ−meson)ซึ่งอยู่ในชนิดของเลปตอน มิวออนมีประจุเท่ากับอิเล็กตรอนและเหมือนอิเล็กตรอนทุกอย่าง ยกเว้นมีมวลมากกว่าเท่านั้น

การค้นพบควาร์กในปีค.ศ.1964 โดยเครื่องเร่งอนุภาคที่ CERN ทำให้อะตอมถูกแบ่งย่อยออกไปอีกและส่วนประกอบพื้นฐานของอะตอมเหลือเพียงแค่อนุภาคมูลฐานคืออิเล็กตรอนกับควาร์กเท่านั้น และเท่าที่ทราบในปัจจุบัน ควาร์กไม่มีส่วนประกอบใดๆอีกแล้ว จึงเป็นอนุภาคมูลฐานเช่นเดียวกับอิเล็กตรอน ควาร์กไม่ได้อยู่อย่างโดดเดี่ยวแบบอนุภาคอิสระ แต่จะเกาะรวมกับควาร์กด้วยกันเสมอ อนุภาคควาร์กจึงสังเกตได้ในช่วงเวลาสั้นๆในขณะที่อนุภาคพลังงานสูงชนกันเท่านั้น อนุภาคสสารคืออนุภาคที่มีมวลนิ่งมากกว่าศูนย์ นั่นทำให้มวลสัมพัทธภาพมีค่าสูงตามไปด้วย อนุภาคสสารจึงไม่อาจเคลื่อนที่ได้เร็วเท่าอนุภาคแสง ส่วนอนุภาคพลังงานมีทั้งอนุภาคที่มีมวลนิ่งเป็นศูนย์เช่นโฟตอนและมีมวลนิ่งมากกว่าศูนย์เช่นWโบซอนและZโบซอน ดังนั้นอนุภาคที่มีมวลนิ่งเป็นศูนย์จึงเป็นอนุภาคที่สามารถมีความเร็วได้เท่าแสง มีอนุภาคมูลฐานเพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้นที่มีบทบาทสำคัญ เช่นอนุภาคที่ประกอบขึ้นเป็นอะตอมได้แก่อิเล็กตรอน,ควาร์กup,ควาร์กdownและอนุภาคที่เป็นสื่อของแรงที่ทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวอนุภาคมูลฐานเช่นกลูออน,โฟตอน,Wโบซอน,Zโบซอน และกราวิตอนนอกเหนือจากอนุภาคเหล่านี้นักฟิสิกส์ยังไม่ทราบว่าทำไมธรรมชาติจึงมีอนุภาคมากมายกว่า300 ชนิด อนุภาคต่างๆเหล่านี้มีไว้เพื่ออะไร

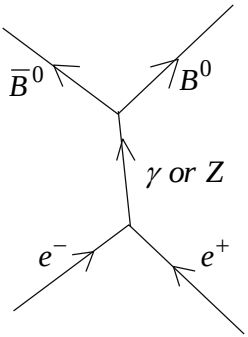
อนุภาคเลปตอนและควาร์กจะถูกแบ่งออกเป็นเซ็ต(set)มีทั้งหมด3เซ็ต เรียกว่า generation of matter,เซ็ตแรกเรียกว่าfirst generation(generationI)เป็นส่วนประกอบของสสารที่พบได้ง่ายที่สุด first generation ของเลปตอนคืออิเล็กตรอน และ first generation ของควาร์กคือ ควาร์ก up และควาร์ก down ส่วนgeneration ที่สองและสามเป็นอนุภาคที่พบได้ยากมากและยังไม่มีใครทราบว่าธรรมชาติมีอนุภาคเหล่านี้เพื่ออะไร

ส่วนอิเล็กตรอนตัวที่2(e_2^-) จะรับโฟตอนที่ปล่อยออกมาที่จุดB เมื่ออิเล็กตรอนตัวที่2รับโฟตอนเข้าไปแล้วก็จะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่เช่นกัน อิเล็กตรอนทั้งสองจะเคลื่อนที่ไปคนละทิศทาง โฟตอนที่ถูกแลกเปลี่ยนระหว่างอิเล็กตรอนเรียกว่าโฟตอนเสมือน(virtual photon)เนื่องจากเป็นอนุภาคมีช่วงอายุที่สั้นมาก การเขียนแผนภาพไฟน์แมนอาจจะแสดงเฉพาะเส้นทางและสัญลักษณ์ของอนุภาคเท่านั้นดังรูปที่7.61ข และไม่ต้องระบุหมายเลขของอิเล็กตรอนก็ได้ว่าเป็นอิเล็กตรอนตัวที่1หรือ2 แต่จะดูเฉพาะเส้นทางวิ่งที่เป็นลูกศรเท่านั้น **ดังนั้นทฤษฎีควอนตัมอิเล็กโตรไดนามิกส์บอกเราว่าสนามแรงก็คือการแลกเปลี่ยนอนุภาคแรงระหว่างอนุภาคสสาร**

ในกรณีการประลัยคู่ ดังรูปที่7.62ข เมื่ออนุภาคอิเล็กตรอน(e^-)และโปสิตรอน(e^+)เคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันก็จะชนกันแล้วได้อนุภาคพลังงานในช่วงระยะเวลาสั้นๆคือโฟตอนเสมือน(เราอาจเรียกสั้นๆว่าโฟตอนก็ได้เพราะในอันตกิริยาระหว่างอนุภาคเป็นที่ทราบกันว่าอนุภาคแรงคืออนุภาคเสมือน จากนั้นโฟตอน(γ)ก็จะสลายตัวเป็นอนุภาคใหม่สองอนุภาคคือมีซอนB^0และมีซอน$\overline{B}^0$ ในกระบวนการนี้โฟตอนจะเป็นสถานะระหว่างกลาง(mediate state)หรือสถานะคั่นกลาง

Richard Fyeman

(ก)



การชนกันระหว่างอิเล็กตรอนกับโปสิตรอน

(ข)

รูป 7.62

ในบางครั้งสถานะคั่นกลางของอันตกิริยาอาจจะเป็นอนุภาคอื่นที่ไม่ใช่โฟตอนก็ได้เช่นอนุภาคซี(Z) ดังนั้นอันตกิริยาระหว่างอนุภาคจึงเป็นไปได้หลายรูปแบบ

ถ้าเราพูดถึงการเกาะเกี่ยวกันระหว่างอนุภาคเฟอร์มิออน(เลปตอนและควาร์ก)ที่ทำให้เกิดสสารแล้ว เรายิ่งไม่อาจพูดได้เลยว่าสสารประกอบขึ้นมาจากเฟอร์มิออนเพียงอย่างเดียวเท่านั้น เพราะทั้งเลปตอนและควาร์กยึดเกาะกันด้วยการแลกเปลี่ยนอนุภาคพลังงาน ดังนั้นสสารจึงประกอบไปด้วยอนุภาคพลังงานอย่างแน่นอน

การปลดปล่อยโฟตอนของอิเล็กตรอนแสดงให้เห็นว่าอนุภาคตัวหนึ่งสามารถสร้างอนุภาคตัวใหม่ออกมาได้ การที่อิเล็กตรอนและโปรตอนปลดปล่อยแสงได้ เป็นสิ่งที่อยู่เหนือการจินตนาการของเราและอธิบายไม่ได้ด้วยกลศาสตร์คลาสสิกหรือเหตุผลใดๆ เราจึงรู้แค่ว่าอิเล็กตรอนสามารถปล่อยโฟตอนออกมาได้เท่านั้น แต่จะไม่เข้าใจว่ามันปลดปล่อยออกมาได้ยังไง ดังนั้นทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์ จึงนิยามว่า เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ด้วยความหน่วงหรือความเร่ง อิเล็กตรอนจะปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา วัตถุทุกชนิดในเอกภพนี้จึงปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาอยู่เสมอ สังเกตได้ง่ายที่สุดคือ วัตถุทุกอย่างจะมีอุณหภูมิในตัวเองอยู่เสมอ และระดับอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากมีการแผ่รังสีและได้รับรังสีอยู่ตลอดเวลา

แม้ทฤษฎีควอนตัมอิเล็กโตรไดนามิกส์จะอธิบายว่า การดึงดูดกันของวัตถุอันเนื่องมาจากสนามแรงทั้งหมดเป็นผลมาจากการแลกเปลี่ยนอนุภาคพลังงานระหว่างอนุภาคสสาร แต่เราก็มองไม่เห็นภาพอยู่ดีว่าการแลกเปลี่ยนอนุภาคทำให้วัตถุถูกยึดไว้ได้อย่างไร เนื่องจากเราไม่มีประสบการณ์ต่อโลกที่เล็กมากขนาดนั้น เพราะการรับรู้ของเราในชีวิตประจำวันบอกเราว่าการยึดวัตถุให้ติดกันจะต้องใช้วัตถุเช่นเชือก โซ่ หรือกาว เช่นการใช้เชือกดึงวัตถุให้เคลื่อนที่ไปตามทิศทางการดึง หรือการใช้กาวยึดอุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกัน ปัญหาเหล่านี้จึงไม่อาจอธิบายได้ด้วยแนวคิดแบบกลจักรดั้งเดิม

นอกเหนือจากแบบจำลองของไฟน์แมนแล้ว ยังมีแบบจำลองที่ใช้อธิบายอันตกิริยาระหว่างอนุภาคอีกแบบเรียกว่าแผนภูมิเอส-เมทริกซ์(Scattering matrix diagram,S-matrix)แผนภูมิเอส-เมทริกซ์คือส่วนหนึ่งของทฤษฎีเอส-เมทริกซ์ ซึ่งเสนอโดยจอห์น วีลเลอร์(John Archibald Wheeler,1911−2008)นักฟิสิกส์ชาวอเมริกันในปี ค.ศ.1937และต่อมาในปี1940 เอส-เมทริกซ์ถูกพัฒนาโดยเวอร์เนอร์ ไฮน์เซนเบิร์ก และผู้พัฒนาในปัจจุบันคือ จอฟฟรีย์ ชิว(Geoffrey Chew)นักฟิสิกส์ชาวอเมริกัน

แบบจำลองของไฟน์แมนจะเน้นไปที่กลไกการดึงดูดและผลักกันหรือกลไกการสร้างอนุภาคโดยมีอนุภาคแรงเป็นตัวเชื่อมกระบวนการ แต่แผนภูมิเอส-เมทริกซ์ไม่ได้สนใจกลไกของอันตกิริยา แต่เน้นไปที่อนุภาคที่เข้าทำอันตกิริยาและอนุภาคที่ได้จากอันตกิริยาเท่านั้น ดังรูปที่7.63ข ซึ่งเป็นอันตกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนและโปสิตรอน แผนภูมิเอส-เมทริกซ์จะแสดงเฉพาะอนุภาคที่เข้าทำอันตกิริยาคืออิเล็กตรอนและโปสิตรอนและอนุภาคที่ได้จากอันตกิริยาคือ B^0และ$\bar{B}^0$วงกลมในแผนภูมิจะหมายถึงเหตุการณ์ของอันตกิริยาซึ่งไม่ได้อธิบายกลไกข้างใน ข้อดีของแผนภูมิเอส-เมทริกซ์คือทำให้เราเข้าใจอันตกิริยาระหว่างอนุภาคได้ง่ายขึ้นโดยไม่ต้องพะวงกับกลไกระหว่างอนุภาค และยังมีข้อดีอีกก็คือสามารถแสดงอันตกิริยาระหว่างอนุภาคในลักษณะที่เป็นกลุ่มอนุภาคได้ง่ายกว่าแผนภูมิไฟน์แมน

2. แรงแบบเข้ม (strong force)

boson

strong	electromagnetic	weak	gravity
gluon,**mesons**	photon	boson	graviton
g	γ	W^+, W^-, Z^0	G
$mass = 0$ $charge = 0$	$mass = 0$ $charge = 0$	$charge$ $+1\ ,\ -1\ ,\ 0$	
แรงระหว่างควาร์ก	แรงระหว่าง อนุภาคที่มีประจุ	แรงที่เกี่ยวข้องกับ การแผ่รังสี	แรงระหว่าง อนุภาคทั้งหมด

ตาราง 7.3 อนุภาคแรง (force particles)

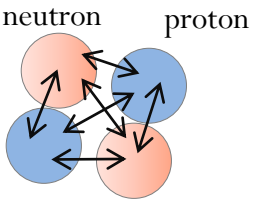
ตารางที่7.3 เป็นตารางแสดงชนิดของโบซอนและแสดงชนิดของสนามแรงทั้งสี่ชนิด โบซอนคืออนุภาคที่เป็นสื่อของแรงหมายถึงเป็นอนุภาคที่เป็นตัวยึดเหนี่ยวอนุภาคสสารเข้าด้วยกัน (หรือผลักกันในกรณีของแรงแม่เหล็กไฟฟ้า)การยึดกันระหว่างอนุภาคสสารคือการที่อนุภาคสสารมีแลกเปลี่ยนโบซอนระหว่างกัน สำหรับแรงทางไฟฟ้าเราได้กล่าวถึงไปแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา ในหัวข้อนี้เราจะมาพิจารณาแรงแบบเข้มกันต่อ จากนั้นก็จะต่อไปยังแรงแบบอ่อนและแรงโน้มถ่วง

ในขณะที่โปรตอนกับอิเล็กตรอนดึงดูดกันด้วย**แรงทางไฟฟ้า(electric force)** ซึ่งเป็นแรงระหว่างอนุภาคที่มีมวลทางไฟฟ้า สำหรับการดึงดูดกันระหว่างนิวตรอนกับโปรตอน,โปรตอนกับโปรตอน และนิวตรอนกับนิวตรอน เรียกว่า**แรงนิวเคลียร์(nuclear force)** แรงนิวเคลียร์มีกำลังมหาศาลมากกว่าแรงทางไฟฟ้าหลายเท่าเพราะสามารถยึดอนุภาคที่มีประจุเหมือนกันคือโปรตอนกับโปรตอนไว้ด้วยกันได้

ในปีค.ศ.1921เจม แชดวิกและอี เอส บีเลอร์(E.S.Bieler)อธิบายว่าแรงนิวเคลียร์คือสิ่งที่ยึดอนุภาคโปรตอนและนิวตรอนเข้าไว้ด้วยกัน ต่อมาในปีค.ศ.1935 ฮิเดกิ ยูกะวะ(Hideki Yukawa,1907–1981)นักฟิสิกส์ชาวญี่ปุ่นได้เสนอว่าจะต้องมีอนุภาคสนามชนิดหนึ่งที่เป็นสื่อของแรงนิวเคลียร์ และทำหน้าที่ยึดนิวคลีออนเข้าไว้ด้วยกัน ยูกะวะคำนวณว่าอนุภาคชนิดนี้จะมีมวลอยู่ระหว่างโปรตอนและนิวตรอน หรือมีมวลมากกว่าอิเล็กตรอน 200 เท่า ต่อมามีการค้นพบว่าแรงนิวเคลียร์เป็นผลของแรงแบบเข้ม

Hideki Yukawa

(ก)



การยึดติดกันระหว่างนิวคลีออน

(ข)

รูป 7.65

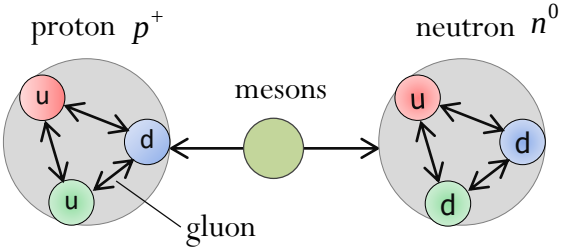
ในปีค.ศ.1947 César Mansueto Giulio Lattes(1924–2005)นักฟิสิกส์ชาวบราซิลค้นพบ**ไพออน** หรือไพ-มีซอน(Pion or pi meson)ซึ่งเป็นอนุภาคที่ยูกะวะได้ทำนายไว้ และต่อมาก็มีการค้นพบมีซอนชนิดอื่นอีก เรียกว่า **คาออน**หรือเค-มีซอน(Kaon or K meson)โดย George Dixon Rochester(1908–2001)และClifford Charles Butler(1922–1999)ทั้งสองท่านเป็นนักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ ก่อนหน้านั้นมีการค้นพบอนุภาคที่มีมวลเท่ากับอนุภาคแรงที่ยูกะวะทำนายไว้ ในรังสีคอสมิก แต่ภายหลังพบว่าอนุภาคชนิดนี้ไม่ใช่มีซอน แต่เป็นมิว-มีซอน(μ-meson)หรือมิวออน(muon)

ในปีค.ศ.1973 เดวิด เจ กรอส(David J.Gross)จากมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย ซานตา บาร์บารา,เอช เดวิด โพลิตเซอร์(H.David Politzer)จากสถาบันเทคโนโลยีแคลิฟอร์เนีย และแฟรงค์ วิลเซ็ก(Frank Wilczek)จากสถาบันเทคโนโลยีเมสซาชูเซทหรือMIT นักฟิสิกส์ทั้งสามท่านได้ค้นพบแรงเชื่อมระหว่างควาร์ก ซึ่งเป็นพื้นฐานที่นำไปสู่การพัฒนาทฤษฎีควอนตัมโครโมไดนามิกส์(quantum chromodynamics)หรือ QCD ซึ่งเป็นทฤษฎีที่อธิบายว่าควาร์กมีอันตกิริยาต่อกันอย่างไร QCDเป็นทฤษฎีที่เทียบได้กับควอนตัมอิเล็กโตรไดนามิกส์ที่ใช้อธิบายอันตกิริยาทางไฟฟ้า

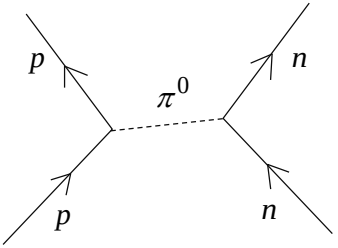
รูป 7.66 David J. Gross ซ้าย,H. David Politzerกลาง,Frank Wilczek ขวา

ต่อมาปีในปีค.ศ.1979 ห้องทดลองDESY ใน Hamburg เยอรมันนี ค้นพบกลูออนซึ่งเป็นอนุภาคนำพาแรงแบบเข้มโดยใช้เครื่องJADE

แรงแบบเข้ม(strong force)หรือเรียกว่าอันตกิริยาแบบเข้ม(strong interaction)ก็ได้ แรงแบบเข้มคือแรงที่ยึดควาร์กเข้าด้วยกันโดยผ่านอนุภาคที่เป็นสื่อของแรงเรียกว่า**กลูออน** จากรูป7.67ก โปรตอนประกอบไปด้วยอนุภาคควาร์กup2 ตัว(ควาร์กupใช้สัญลักษณ์ u)และควาร์กdown1ตัว(ควาร์กdownใช้สัญลักษณ์d)และนิวตรอนประกอบไปด้วยควาร์ก up1ตัวและควาร์กdown2 ตัว นอกจากนั้นโปรตอนและนิวตรอนก็ยึดติดกันโดยมีอนุภาค**มีซอน**เป็นสื่อของแรง มีซอนมีขนาดใหญ่กว่ากลูออนและประกอบขึ้นมาจากควาร์ก ภายในมีซอนจะมีอนุภาคควาร์ก2ตัวโดยยึดกันด้วยแรงแบบเข้มที่มีกลูออนเป็นสื่อ มีซอนจึงเป็นอนุภาคแรงที่เป็นผลมาจากการยึดเหนี่ยวของกลูออนอีกทีหนึ่ง กลูออนเป็นอนุภาคพลังงานที่เป็นอนุภาคมูลฐานเพราะไม่มีส่วนประกอบอื่นใดอีก กลูออนจึงจัดอยู่ในประเภทโบซอน มีเพียง**มีซอนที่จัดอยู่ในประเภทฮาดรอน** ที่ต้องแสดงมีซอนในตาราง 7.3ก็เพื่อแสดงให้เห็นว่ามีซอนเกี่ยวข้องกับแรงแบบเข้ม การยึดเหนี่ยวกันระหว่างควาร์กเรียกว่าแรงแบบเข้ม ส่วนการยึดเหนี่ยวกันระหว่างโปรตอนและนิวตรอนเรียกว่าแรงนิวเคลียร์ แรงนิวเคลียร์จึงเป็นผลที่ต่อเนื่องของแรงแบบเข้มเท่านั้น



(ก) กลูออนคือแรงระหว่างควาร์ก ส่วนมีซอนคือแรงระหว่างนิวคลีออน



(ข) Feynman diagram of Yukawa's pion model

รูป 7.67

รูปที่7.67 ก เป็นการแลกเปลี่ยนกลูออนระหว่างควาร์กในโปรตอนและนิวตรอน และระหว่างโปรตอนกับนิวตรอนก็เป็นการแลกเปลี่ยนอนุภาคมีซอนหลายๆชนิด

บทที่ 8

บทสรุป

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงขีดจำกัดของความรู้อย่างละเอียด โดยจะอธิบายทุกแง่ทุกมุมเพิ่มเติมจากบทก่อนๆว่าทำไมความรู้แบบเหตุและผลถึงมีขีดจำกัดและใช้ไม่ได้ในการอธิบายเอกภพ ทำไมเรขาคณิตจึงไม่ได้ให้คำตอบอย่างที่เราคาดหวัง กลศาสตร์ควอนตัมทำให้เราเข้าใจว่า ความรู้ของเรามีขีดจำกัดในการอธิบายธรรมชาติ ธรรมชาติในระดับพื้นฐาน ไม่ใช่สิ่งที่จะเข้าใจได้ด้วยภาษาและการใช้สัญลักษณ์เข้าไปอธิบาย เรขาคณิตคือสิ่งที่อธิบายได้เพียงตำแหน่งของอนุภาคเท่านั้นเอง

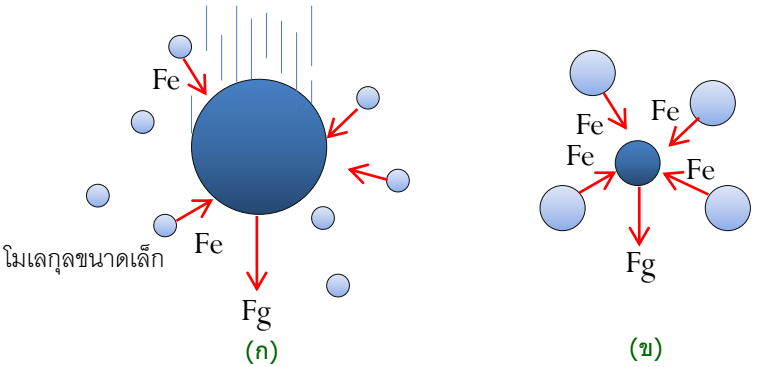
บทสรุป

มาถึงตอนนี้เราพอมองภาพออกแล้วว่าการรับรู้ของเราขึ้นอยู่กับแรงทางไฟฟ้าโดยมีแรงแบบเข้มช่วยค้ำจุนการรับรู้ของเรา ตัวอย่างเช่นเรารู้ว่าแรงโน้มถ่วงดึงดูดทุกอย่างโดยการมองเห็นของเรา เพราะเรามองเห็นการตกของวัตถุ และถึงแม้เราจะหลับตาเราก็ยังรู้ว่าโลกดึงดูดเรา เพราะเรารู้สึกถึงน้ำหนักของเราจากการยืนหรือการนั่งอันเป็นผลมาจากแรงทางไฟฟ้า เพราะการผลักกันของอิเล็กตรอนระหว่างพื้นและตัวเราทำให้เรายืนอยู่ได้ นั่นเป็นสาเหตุที่ว่าทำไมแรงโน้มถ่วงมีค่าน้อยกว่าแรงทางไฟฟ้า ถ้าแรงโน้มถ่วงมีความแรงมากกว่าแรงทางไฟฟ้าอะตอมจะถูกทำลาย เพราะแทนที่อิเล็กตรอนจะผลักกันแต่กลับดึงดูดกันอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วง

การมองเห็นของเราคืออันตกิริยาระหว่างแสงหรือโฟตอนกับอิเล็กตรอนในดวงตาของเรา การสัมผัสของเราคืออันตกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนของตัวเรากับอิเล็กตรอนของสิ่งแวดล้อมเช่น อิเล็กตรอนของอะตอมก๊าซ(อากาศ)ที่ชนกับผิวของเรา หรืออิเล็กตรอนของปากกาที่เราถืออยู่ การได้ยินของเราคืออันตกิริยาทางไฟฟ้าระหว่างอะตอมของอากาศกับเยื่อแก้วหูของเรา แม้แรงแบบเข้มจะไม่มีบทบาทต่อการรับรู้โดยตรงของเรา แต่แรงแบบเข้มช่วยให้อะตอมมีเสถียรภาพและความหลากหลาย ถ้าไม่มีแรงแบบเข้มก็จะไม่มีโปรตอนและนิวตรอนและแน่นอน เอกภพจะไม่มีอะตอม

การรับรู้ของเราอันเนื่องมาจากอันตกิริยาเป็นสิ่งที่ชี้ให้เห็นว่า เราไม่มีทางรู้เหตุการณ์ในอนาคตได้ การรู้อนาคตของเราคือการคาดการณ์ที่อยู่ในความคิดของเราเท่านั้น และเราทราบอนาคตได้อย่างคร่าวๆแต่ไม่แม่นยำเช่นเรารู้ว่ารายการเพลงที่เราชอบจะมาวันไหนและกี่โมงในสัปดาห์นี้ก็เพราะเรารู้ล่วงหน้าผ่านอันตกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนจากการฟังโฆษณาทางทีวี แต่ก็นั่นแหละการออกอากาศอาจไม่มีก็ได้ ถ้ามีเหตุสุดวิสัย หรือเรารู้ว่าอีกไม่กี่ชั่วโมงข้างหน้าเราจะหิวข้าวแน่นอน แต่เราบอกเวลาล่วงหน้าชัดเจนเป็นนาทีเป็นวินาทีไม่ได้ เพราะการหิวจะเริ่มจากน้อยไปมาก เรารู้ว่าฤดูฝนจะต้องมีฝนตกแน่นอน แต่เราไม่รู้ล่วงหน้าได้นานๆว่าตกวันไหน เวลาไหน เราจะรู้ละเอียดขึ้นก็ต่อเมื่อฝนใกล้ตกแล้วเท่านั้น เพราะช่วงเวลานั้นอันตกิริยาระหว่างเรากับสิ่งแวดล้อมมาถึงแล้วคือ ความมืด อากาศที่อบอ้าวและปริมาณเมฆมหาศาลบนท้องฟ้าซึ่งเป็นอันตกิริยาทางไฟฟ้าคือ แสงทำให้เรามองเห็นว่ามีเมฆมาก และโฟตอนทำให้เรารู้ว่าอากาศอบอ้าว การที่นักฟิสิกส์รู้ล่วงหน้าได้เป็นปีๆว่าดาวหางจะเคลื่อนที่ผ่านโลกตอนไหน ก็เป็นเพราะอันตกิริยาทางไฟฟ้าจากการสังเกตทางดาราศาสตร์โดยอาศัยโฟตอนที่มีอันตกิริยากับกล้องโทรทรรศน์แบบเลนส์หรือกล้องโทรทรรศน์วิทยุ และก็ใช้สมการในการพยากรณ์เส้นทางล่วงหน้าได้ ความรู้แบบสัมพัทธ์จึงต้องพึ่งพาอันตกิริยาทางไฟฟ้าและต้องได้ข้อมูลที่แม่นยำ

แน่นอนสมการช่วยได้มากในกรณีที่เป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาดใหญ่ซึ่งมักจะไม่ค่อยพลาด แต่ก็จำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่มาจากการรับรู้ผ่านทางอันตกิริยาและเหตุสุดวิสัยที่ไม่เป็นไปตามนั้นก็เกิดได้ยากเช่นดาวหางหยุดการเคลื่อนที่เอาดื้อๆ ดังนั้นการพยากรณ์อนาคตจะต้องอาศัยข้อมูลที่แม่นยำและไม่พ้นอันตกิริยา สมการช่วยได้ไม่มากนักถ้าไม่มีข้อมูล ไม่มีใครรู้ได้แม่นยำว่าเมฆก่อตัวที่ไหน,เมื่อใดและมีปริมาณเท่าใด ไม่มีใครรู้แม่นยำว่าเมฆจะลอยไปไหน แต่สามารถบอกได้แค่คร่าวๆในภาพรวมเท่านั้น นี่เป็นเรื่องของความน่าจะเป็น ดังนั้นการรับรู้คืออันตกิริยาทางไฟฟ้า เมื่อไม่มีอันตกิริยาไฟฟ้าเราจะรู้อนาคตได้ยังไง เมื่อข้อมูลที่ได้จากอันตกิริยาคือความน่าจะเป็นเราจะรู้อนาคตได้ยังไง ไม่มีสมการไหนจะทำได้ อนาคตจึงเป็นเรื่องที่มีขีดจำกัด ไม่แม่นยำ เป็นการประมาณการ แม้กระทั่งเหตุการณ์ปัจจุบันก็ทำให้เราปวดหัว เช่นการเคลื่อนไหวของอิเล็กตรอน เราอยากรู้ว่าอิเล็กตรอนแทรกสอดกันได้ยังไง ก่อนอื่นเราต้องรู้ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน แต่เมื่อเราทราบตำแหน่งที่แม่นยำของอิเล็กตรอนเรากลับไปทำลายpattern ของการแทรกสอดนั้นแล้ว วิทยาศาสตร์อยู่บนพื้นฐานของเหตุผลและการสังเกตการณ์ และเชื่อในสิ่งที่เรียกว่าหลักฐาน ซึ่งหลักฐานก็หมายถึงสิ่งที่เราสังเกตและวัดค่าได้นั่นแหละ ดังนั้นปัญหาต่างๆที่ไม่เกี่ยวข้องกับอันตกิริยาระหว่างอนุภาค เรายังจะพยายามเข้าใจปัญหาเหล่านี้โดยยึดถือการวัดค่าได้อีกหรือไม่ คำตอบที่อาจจะง่ายๆคืออวิทยาศาสตร์ทำอะไรไม่ได้อีกแล้ว



รูป 8.1

รูปที่ 8.1ก วัตถุขนาดใหญ่จะตกลงมาด้วยอิทธิพลของแรงโน้มถ่วง(Fg) เนื่องจากอิทธิพลของแรงไฟฟ้า(Fe)มีน้อยทำให้ง่ายในการคำนวณตำแหน่งและความเร็ว กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันจึงแม่นยำ รูปที่8.1ข เป็นกรณีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลอากาศที่ไม่มีความแน่นอน โมเลกุลก๊าซขนาดเล็กจะถูกอิทธิพลของแรงไฟฟ้าจากโมเลกุลรอบด้านกระทำอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากขนาดที่เล็กมากทำให้อิทธิพลของแรงทางไฟฟ้ามีผลต่ออนุภาคก๊าซมากกว่าแรงโน้มถ่วง ก๊าซจึงลอยตัวในอากาศได้ตลอดเวลา